

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

О.Л. Глущенко

Конспект лекцій з дисципліни

КОТЕЛЬНІ УСТАНОВКИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

**для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
зі спеціальності 144–Теплоенергетика
очної та заочної форм навчання**

Затверджено
редакційно-видавничою секцією
НМР ДДТУ

_____ 2019р., протокол № _____

Кам'янське
2019

Розповсюдження і тиражування без офіційного дозволу Дніпровського державного технічного університету **заборонено**.

Конспект лекцій з дисципліни «Котельні установки промислових підприємств» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 144 – Теплоенергетика очної та заочної форм навчання / Укл. Глущенко О.Л., – Кам'янське: ДДТУ, 2019 – 103 с.

Укладач: О.Л. Глущенко, кандидат технічних наук

Рецензент: І.С. Долгополов, кандидат технічних наук

Відповідальний за випуск: зав.кафедрою ТЕП, кандидат технічних наук
Клімов Р.О.

Затверджено на засіданні кафедри ТЕП

/протокол № 9 від 26.09.2019р. /

Конспект лекцій призначений для здобувачів вищої освіти 3-ого курсу очної та 4-ого курсу заочної форми навчання спеціальності 144 - Теплоенергетика.

У конспекті розглядаються всі розділи, які вивчаються на протязі семестру і які цілком відповідають робочій програмі по курсу «Котельні установки промислових підприємств», а саме:

- Розділ 1. Вступ. Загальна схема котельної установки і її баланси.
- Розділ 2. Топкові процеси й устаткування.
- Розділ 3. Поверхні нагрівання парових котлів.
- Розділ 4. Теплообмін в елементах котла.
- Розділ 5. Водопідготовка.
- Розділ 6. Водний режим і якість пари.
- Розділ 7. Характеристика і конструкція котлів.
- Розділ 8. Питання експлуатації котлів.

Конспект лекцій містить повний ілюстративний матеріал, який допомагає більш досконаліше ознайомитися з обладнанням котельних установок, зрозуміти принцип дії окремих складників котла.

Дана розробка буде корисна для здобувачів вищої освіти 3-ого курсу очної та 4-ого курсу заочної форми навчання спеціальності 144 - Теплоенергетика при вивченні дисципліни «Котельні установки промислових підприємств».

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ВСТУП. ЗАГАЛЬНА СХЕМА КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ І ЇЇ БАЛАНСИ	7
Тема 1.1 Котельні установки в системах енергогосподарства промислових підприємств	7
1.1.1 Призначення котельних установок	7
1.1.2 Загальна технологічна схема котельної установки, яка працює на твердому паливі	7
Контрольні питання до теми 1.1	11
Тема 1.2 Класифікація і маркірування котлів	11
1.2.1 Котли з багаторазовою примусовою циркуляцією	13
1.2.2 Прямоточні котли	13
1.2.3 Основні параметри котлів	13
Контрольні питання до теми 1.2	15
Тема 1.3 Матеріальний і тепловий баланси котла. ККД котла і витрата палива	15
1.3.1 Матеріальний баланс котла	15
1.3.2 Тепловий баланс котла	16
1.3.3 Втрати теплоти з відхідними газами (q_2)	18
1.3.4 Втрати теплоти від хімічного недопалу (q_3)	18
1.3.5 Втрати теплоти від механічного недопалу (q_4)	19
1.3.6 Втрати теплоти від зовнішнього охолодження (q_5)	19
1.3.7 Втрати теплоти з фізичною теплотою шлаку (q_6)	19
Контрольні питання до теми 1.3	19
РОЗДІЛ 2. ТОПКОВІ ПРОЦЕСИ Й УСТАТКУВАННЯ	20
Тема 2.1 Класифікація топок і основні показники їхньої роботи	20
2.1.1 Класифікація топок	20
2.1.2 Основні показники роботи топок	20
2.1.3 Способи спалювання твердого палива	21
2.1.4 Принципова схема котла з киплячим шаром	21
Контрольні питання до теми 2.1	23
Тема 2.2 Пилоготування. Сушіння і розмелювання палива	24
2.2.1 Пилоготування та його принципові схеми	24
2.2.2 Сушіння палива	24
2.2.3 Розмелювання палива	26
Контрольні питання до теми 2.2	26
Тема 2.3 Топки з твердим і рідким шлаковидаленням	27
2.3.1 Принципова схема топки з твердим шлаковидаленням	27
2.3.2 Принципова схема топок з рідким шлаковидаленням	28
2.3.3 Циклонні топки з рідким шлаковидаленням з горизонтальним розташуванням циклона	29
2.3.4 Схеми топкових камер для спалювання газоподібного палива	30
Контрольні питання до теми 2.3	30

РОЗДІЛ 3. ПОВЕРХНІ НАГРІВУ ПАРОВИХ КОТЛІВ	32
Тема 3.1 Призначення і компонування пароперегрівника, економайзера і повітропідігрівника	32
3.1.1 Випарні поверхні нагрівання	32
3.1.2. Пароперегрівники і їх компонування	34
3.1.3. Регулювання температури пари	35
3.1.4 Економайзери і повітропідігрівники	38
Контрольні питання до розділу 3	42
РОЗДІЛ 4. ТЕПЛООБМІНІ ГІДРОДИНАМІКА В ЕЛЕМЕНТАХ КОТЛА	43
Тема 4.1 Теплообмін в елементах котла	43
4.1.1 Теплообмін у топці	43
4.1.2 Теплообмін у конвективних поверхнях	43
4.1.3 Розрахунок теплопередачі в конвективних поверхнях нагрівання	44
4.1.4 Температурний напір	44
Тема 4.2 Гідродинаміка в елементах котла (тема для самостійного опрацювання)	46
4.2.1 Умови надійної роботи елементів котла	46
4.2.2 Режим, структура й характеристика потоку робочого тіла	46
4.2.3 Гідродинаміка водогрійних котлів	47
Контрольні питання до розділу 4	47
РОЗДІЛ 5. ВОДОПІДГОТОВКА	49
Тема 5.1 Якість природних вод. Визначення показників якості води. Прояснення і коагуляція води	49
5.1.1 Значення водопідготовки	49
5.1.2 Якість природних вод	49
5.1.3 Показники якості води	49
5.1.4 Прояснення води	50
5.1.5 Коагуляція води	51
Контрольні питання до теми 5.1	52
Тема 5.2 Процеси катіонування. Схеми водопідготовчих установок	52
5.2.1 Обробка води методом катіонного обміну	52
5.2.2 Схеми водопідготовчих установок	55
Контрольні питання до теми 5.2	57
Тема 5.3 Деаерація води	57
5.3.1 Закон Генрі	58
5.3.2 Деаератори атмосферного типу	58
5.3.3 Двосхідцеві деаератори	59
5.3.4 Вакуумні деаератори	60
Контрольні питання до теми 5.3	61
РОЗДІЛ 6. ВОДНИЙ РЕЖИМ І ЯКІСТЬ ПАРИ	62
Тема 6.1 Водний режим котла	62
6.1.1 Продувка котлів. Рівняння сольового і матеріального	62

балансів котла	
6.1.2 Схема організації продувки котла	63
6.1.3 Східчастий випар	63
Контрольні питання до теми 6.1	67
Тема 6.2 Якість пари. Сепарація і промивання пари	68
6.2.1 Якість пари	68
6.2.2 Експлуатаційні фактори	70
6.2.3 Теплохімічні випробування котлів	71
6.2.4 Сепараційні пристрої	71
6.2.5 Промивання пари	73
6.2.6 Внутрікотлова обробка води	74
Контрольні питання до теми 6.2	74
РОЗДІЛ 7. ХАРАКТЕРИСТИКА І КОНСТРУКЦІЇ КОТЛІВ	75
Тема 7.1 Теплова схема котла	75
7.1.1 Характеристика теплової схеми	75
7.1.2 Теплосприймання у випарній системі, економайзері і пароперегрівнику	75
7.1.3 Теплові схеми котла	76
7.1.4 Температура газів на виході з топки і температура відхідних газів	78
7.1.5 Компонування котлів	79
Контрольні питання до теми 7.1	81
Тема 7.2 Котлоагрегати спеціального призначення(тема для самостійного опрацювання)	81
7.2.1 Водогрійні котли	81
7.2.2 Парогазові установки (ПГУ)	82
7.2.3 Котли-утилізатори	83
7.2.4 Енерготехнологічні агрегати (ЕТА)	85
Контрольні питання до теми 7.2	86
РОЗДІЛ 8. ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОТЛІВ	87
Тема 8.1 Корозія металів і її типи	87
8.1.1 Стояночна корозія	87
8.1.2 Тепловий стан труб повітропідігрівника	88
8.1.3 Золовлівлювання	90
Контрольні питання до теми 8.1	91
Тема 8.2 Зовнішні забруднення поверхонь нагрівання. Умови роботи металу котлів.	91
8.2.1 Зовнішні забруднення поверхонь нагрівання	91
8.2.2 Очищення поверхонь нагрівання	92
8.2.3 Дробуочистка	93
8.2.4 Механічні властивості металів	94
8.2.5 Умови роботи металу елементів котла	97
Контрольні питання до теми 8.2	98
Тема 8.3 Експлуатація котельних агрегатів(тема для самостійного опрацювання)	98

8.3.1	Порушення циркуляції пароводяної суміші у випарній системі	98
8.3.2	Підготовка і пуск у роботу котлоагрегату	99
8.3.3	Обслуговування під час роботи	99
8.3.4	Зупинка котла	99
8.3.5	Ремонт котла	100
8.3.6	Нагляд за котлами	100
	Контрольні питання до теми 8.3	101
	ПЕРЕЛІК ОСНОВНОЇ ТА ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ	102

РОЗДІЛ 1

ВСТУП. ЗАГАЛЬНА СХЕМА КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ І ЇЇ БАЛАНСИ

Тема 1.1 Котельні установки в системах енергогосподарства промислових підприємств

Задачою дисципліни є вивчення процесів одержання пари і гарячої води, а також вивчення відповідного устаткування.

1.1.1 Призначення котельних установок

Призначення котельних установок полягає в одержання пари необхідних параметрів і гарячої води.

Відповідно, виділяють парові котли, водогрійні котли і пароводогрійні котли. Пару, в основному, одержують за рахунок теплоти, що виділяється при спалюванні органічного палива.

При цьому в котлах можна спалювати будь-які види палива, включаючи низькосортне вугілля, відходи вуглезбагачення, пальні відходи, а також газу, що відходять від технологічних установок і теплоту, отриману при охолодженні елементів високотемпературних установок.

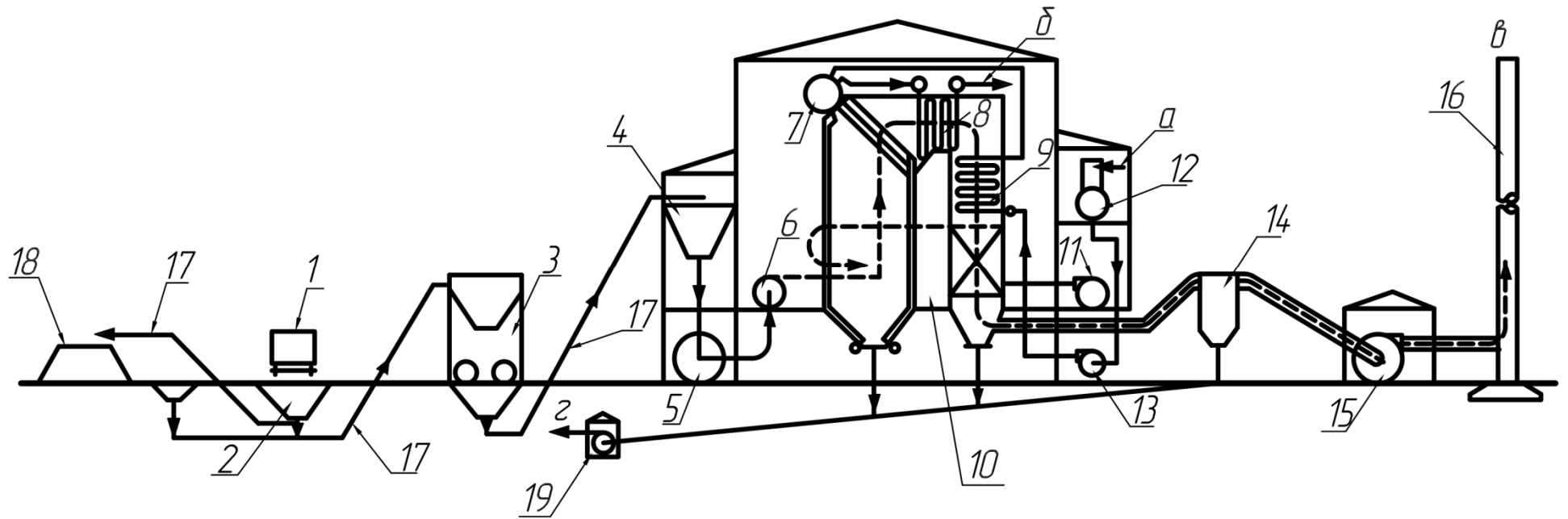
Для виробництва водяної пари звичайно використовується оброблена природна вода і конденсат від паротурбінних агрегатів і технологічних установок. Відходами виробництва пари є охолоджені газоподібні продукти згоряння, а при використанні твердого палива також мінеральні залишки у вигляді шлаку і золи.

Перші парові котли на початку 19 ст. виробляли пару тиском 0,5 – 0,6 МПа і мали продуктивність сотні кілограмів у годину. На даний час для виробництва пари застосовують парогенератори з тиском до 25 МПа (і навіть до 31 МПа) при температурі до 570 °С і продуктивністю до 4000 т/год.

1.1.2 Загальна технологічна схема котельної установки, яка працює на твердому паливі

Схема котельної установки представлена на *рисунку 1.1*.

Паливо з вагона 1 надходить у бункер 2 і за допомогою стрічкового транспортера 17 подається в дробильні пристрої 3, де подрібнюється до часток розміром порядку 1мм і частки мм. Далі, за допомогою транспортера 17, паливо подається в бункер 4, з якого надходить у млин 5, де подрібнюється до часток розміром десятки і сотні мікрометрів. Вугільний пил із млина 5, за допомогою



1 – вагон з паливом; 2 – бункер розвантажувального пристрою; 3 – дробильний блок; 4 – бункер котла для сирого палива; 5 – млин для розмелу палива; 6 – ексгаустер; 7 – барабан котла; 8 – пароперегрівник; 9 – водяний економайзер; 10 – повітропідігрівник; 11 – вентилятор; 12 – деаератор; 13 – живильний насос; 14 – золовловлювач; 15 – димосос; 16 – димова труба; 17 – стрічковий транспортер; 18 – штабель вугілля; 19 – багерна насосна система золовидалення; а – живильна вода; б – перегріта пара; в – продукти згоряння; г – шлак і зола.

Рисунок 1.1 – Загальна технологічна схема котельної установки, яка працює на твердомупаливі

ексгаустера 6 вдувається в топку, у яку також подається підігріте повітря з повітропідігрівника 10. У топці відбувається горіння вугільного пилу, при цьому утворюються газоподібні продукти згорання, а непальна частина палива виділяється у вигляді золи і шлаку. **Шлак** - це та ж зола, що пройшла процес горіння при високій температурі.

У топці уловлюється (5-10)% золи і шлаку, що утворюються, інша маса несеться потоком продуктів згорання, проходить горизонтальний газохід і опускає шахту котла (конвективну) і уловлюється в золоуловлювачі 14. Зола і шлак за допомогою води і насоса відкачується в золовідвал.

Котли живляться природною водою, яка проходить попереднє хімічне очищення і подається в деаератор установки 12, де звільняється від розчинених у ній газів O_2 і CO_2 , далі за допомогою живильного насоса 13, через економайзер 9 подається в барабан 7.

В економайзері відбувається попередній підігрів води, і навіть, частковий випар.

Барабан котла призначений для створення запасу води, крім того, тут відбувається процес сепарації пари, тобто відділення крапельок води від пари. У барабані завжди знаходиться насичена пара, яка далі направляється в пароперегрівник, на виході з якого маємо перегріту пару заданих параметрів.

Устаткування парогенераторної установки умовно розділяють на основне – *власне парогенератор (агрегат) і допоміжне*. Допоміжними називають устаткування і пристрої для подачі палива, живильної води і повітря, для видалення продуктів згорання, очищення димових газів, видалення золи і шлаку, паропроводи, водопроводи й ін.

Схема котельного агрегату, який працює на пилоподібному паливі, представлена на *рисунок 1.2*.

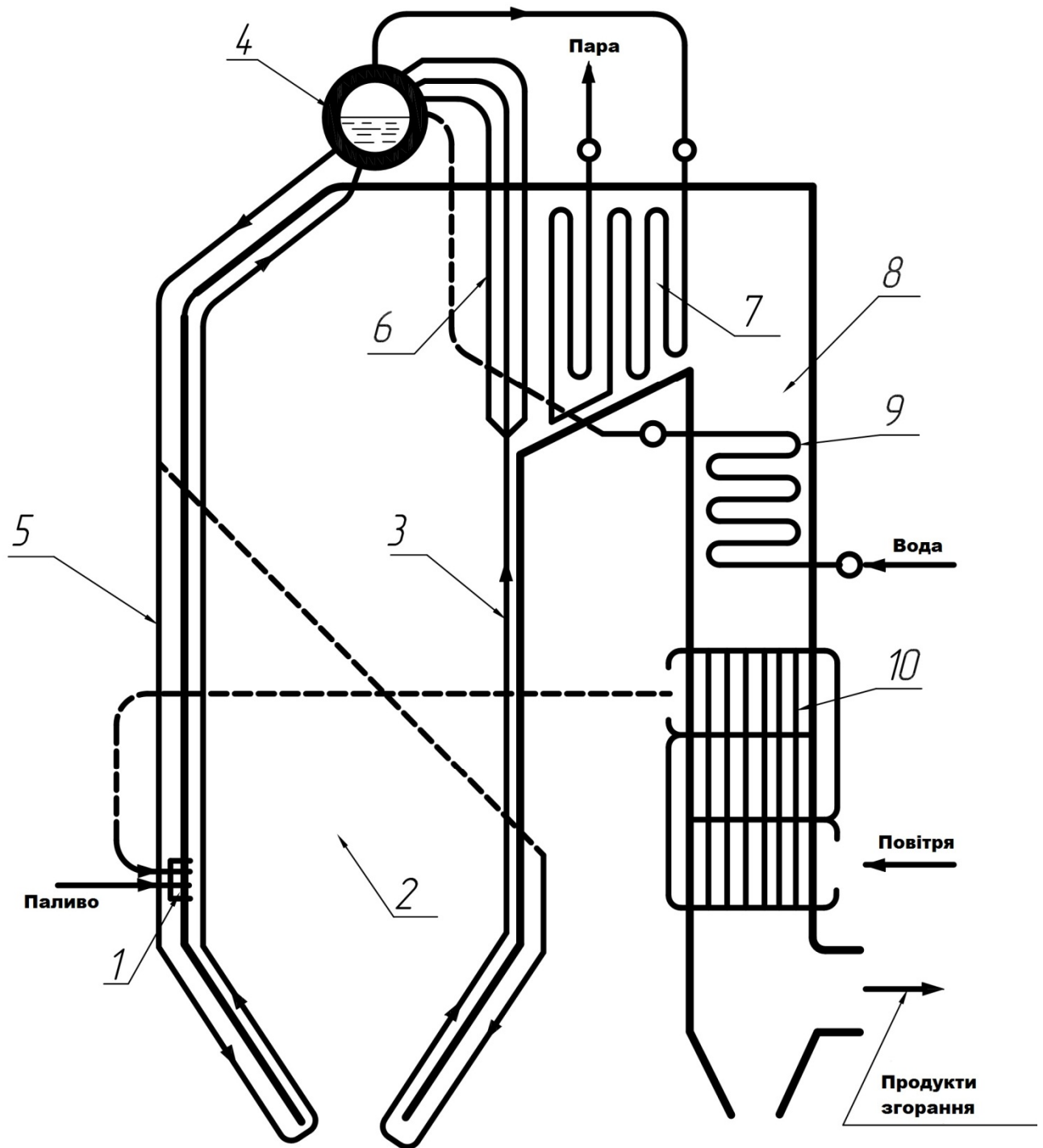
Парогенератор складається з топкової камери і газоходів, поверхонь нагрівання, що знаходяться під тиском робочого середовища (води, пароводяної суміші, пари), водяного економайзера, випарних елементів, пароперегрівника і повітропідігрівника.

На стінах топкової камери розташовані екрани і на виході з топки – фестон, що утворюють випарні поверхні нагрівання, які одержують частину тепла продуктів згорання. Природна циркуляція води і пароводяної суміші в системі організується за рахунок різниці мас стовпа води в опускних трубах і пароводяної суміші в підйомних трубах екранів і фестона.

Після топкової камери продукти згорання проходять через пароперегрівник, у якому пара перегрівається до необхідної температури і направляється до споживачів. Після пароперегрівника продукти згорання проходять через водяний економайзер, підігріваючи живильну воду, і повітряний підігрівник, у якому підігрівається повітря, що йде на спалювання палива. Охолоджені продукти згорання видаляються з парогенератора.

Котел включає топку 2, горизонтальний газохід, опускає шахту (конвективну) шахту 8. У стінах топки 2 встановлюють пальник 1. Стіни топки екрановані підйомними трубами 3, що підключені до барабану 4. Вода з барабану 4 по

опускних трубах 5 надходить у нижні колектори, з яких рухається до барабана по підйомних трубах 3.



1 — пальник; 2 — топочна камера; 3 — екранні поверхні нагріву; 4 — барабан; 5 — система опускних труб циркуляційного контуру екранів; 6 — фестон; 7 — пароперегрівник; 8 — опускний газохід; 9 — водяний економайзер; 10 — повітропідігрівник

Рисунок 1.2 - Схема котла, який працює на пилевидному паливі

Таким чином, барабан, опускні труби, нижні колектори і підйомні труби утворюють циркуляційний замкнутий контур, при цьому вода в опускних

трубах має температуру близьку до температури кипіння, а при русі води в підйомних трубах йде процес пароутворення. У таких котлах безперервна циркуляція відбувається за рахунок різниці мас води в опускних трубах 5 і пароводяної суміші в підйомних трубах 3. Пароутворення відбувається за рахунок теплоти, що виділяється при спалюванні палива в пальниках 1. При спалюванні твердого палива утворюється зола, яка частково уловлюється в топці (до 10 %). З цією метою в нижній частині топки є холодна воронка. Труби заднього екрану на виході з топки виконують з розрідженням (розводять). Зокрема, на схемі показан фєстон 6. Температура продуктів згоряння на виході з топки істотно нижче, ніж у зоні горіння палива. Тому теплообмін у топці переважно відбувається шляхом випромінювання, а в газоході й у конвективній шахті – шляхом конвекції. У котел надходить хімічно очищена і деаерована вода. Однак, у процесі роботи котла накопичуються солі жорсткості в котловій воді. Тому застосовують внутрікотлову обробку води за допомогою хімічних реагентів. Для підтримки необхідного солемісту в котловій воді застосовують продувку котлів, тобто частина води виводиться з котларазом із солями. Замикаючою поверхнею нагрівання котла є повітропідігрівник. Підігріте повітря направляється в пальники, що сприяє процесу спалювання палива.

Контрольні питання до теми 1.1

1. Яка роль котельних установок у системі енергогосподарства промислових підприємств?
2. Поясніть пристрій і принцип дії технологічної схеми котельної установки.
3. Яка особливість схеми парового котла, який працює на твердому паливі?
4. По якому принципу класифікуються котельні установки?

Тема 1.2 Класифікація і маркірування котлів

У залежності від організації циркуляції води і пароводяної суміші котли підрозділяються на дві групи:

- з природною циркуляцією;
- з примусовою циркуляцією.

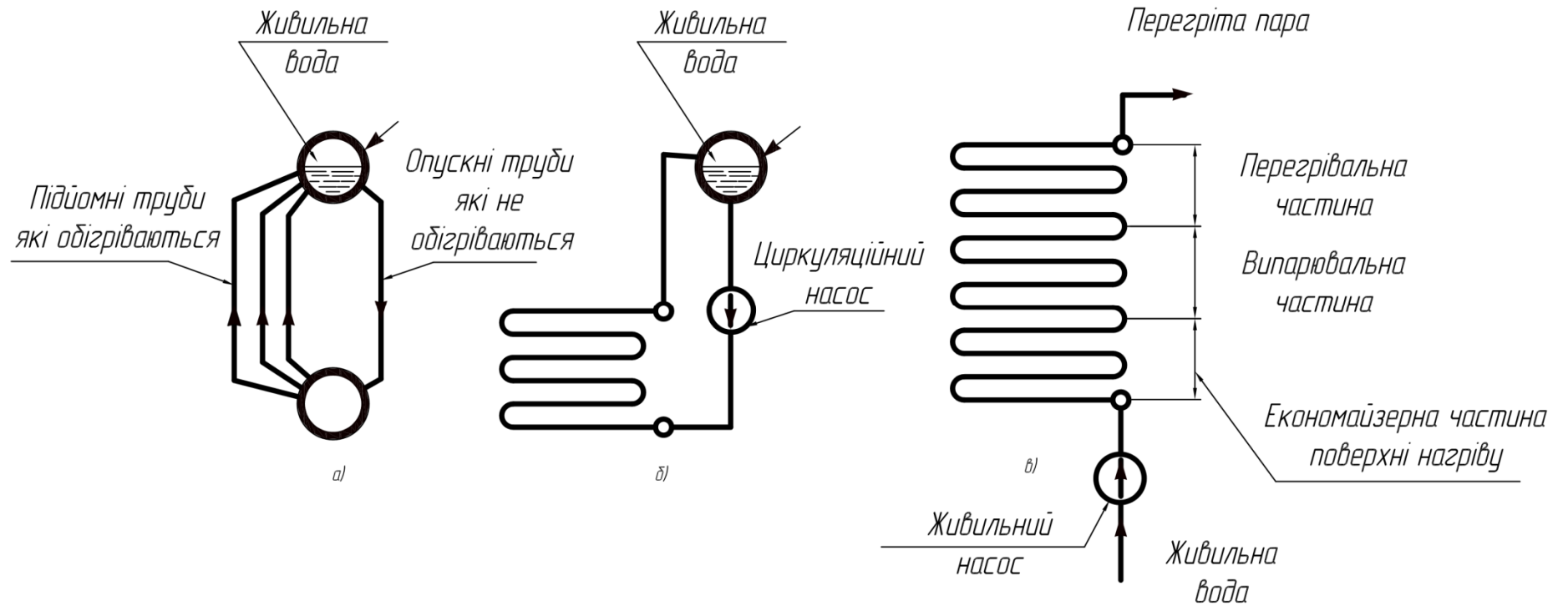
У свою чергу котли з примусовою циркуляцією підрозділяються на:

- котли з багаторазовою примусовою циркуляцією;
- прямоточні котли.

Схеми циркуляції води і пароводяної суміші в котлах представлені на *рисунку 1.3*:

- а) природна циркуляція;
- б) багаторазова примусова циркуляція;
- в) прямоточний рух.

У схемі а) циркуляція води і пароводяної суміші у випарній системі відбувається природнім шляхом за рахунок напору, який створюється різницею



а — природна циркуляція; *б* — багатократна примусова циркуляція; *в* —прямотоковий рух

Рисунок 1.3 - Схеми організації руху потоку води та пароводяної суміші в котлах

ваг стовпа води в опускних трубах і стовпа пароводяної суміші в підйомних трубах системи, яка обігрівається.

У схемі б) циркуляція здійснюється за допомогою циркуляційного насоса.

У схемі в) вода, що надходить у котел, послідовно проходить економайзерну, випарну і перегрівальну ділянки поверхні нагрівання, так що на виході одержуємо перегріту пару.

Для характеристики циркуляційних систем надається поняття кратності циркуляції.

$$K = G_{\text{води}}/G_{\text{пари}},$$

де $G_{\text{води}}$ і $G_{\text{пари}}$ – масові витрати води і пари в контурі.

1.2.1 Котли з багаторазовою примусовою циркуляцією

Схема котла представлена на *рисунку 1.4 (в)*. Як видно з рисунку подача води в барабан, також як і в котлах із природною циркуляцією, відбувається через економайзер, а циркуляція води і пароводяної суміші у випарній системі котла відбувається за допомогою циркуляційного насоса. У цих котлах пару одержують за рахунок теплоти технологічних газів, що надходять у котел.

1.2.2 Прямоточні котли

Схема прямооточного котла представлена на *рисунку 1.4 (б)*.

Перевага цих котлів – відсутність барабана, однак тут потрібна більш висока якість підготовки живильної води.

У прямооточних котлах вода в економайзері нагрівається приблизно на 30 °С нижче температури кипіння, а випарювання води відбувається як у межах топки (поверхні 2), так і в перехідній зоні, яка розташована в конвективній шахті.

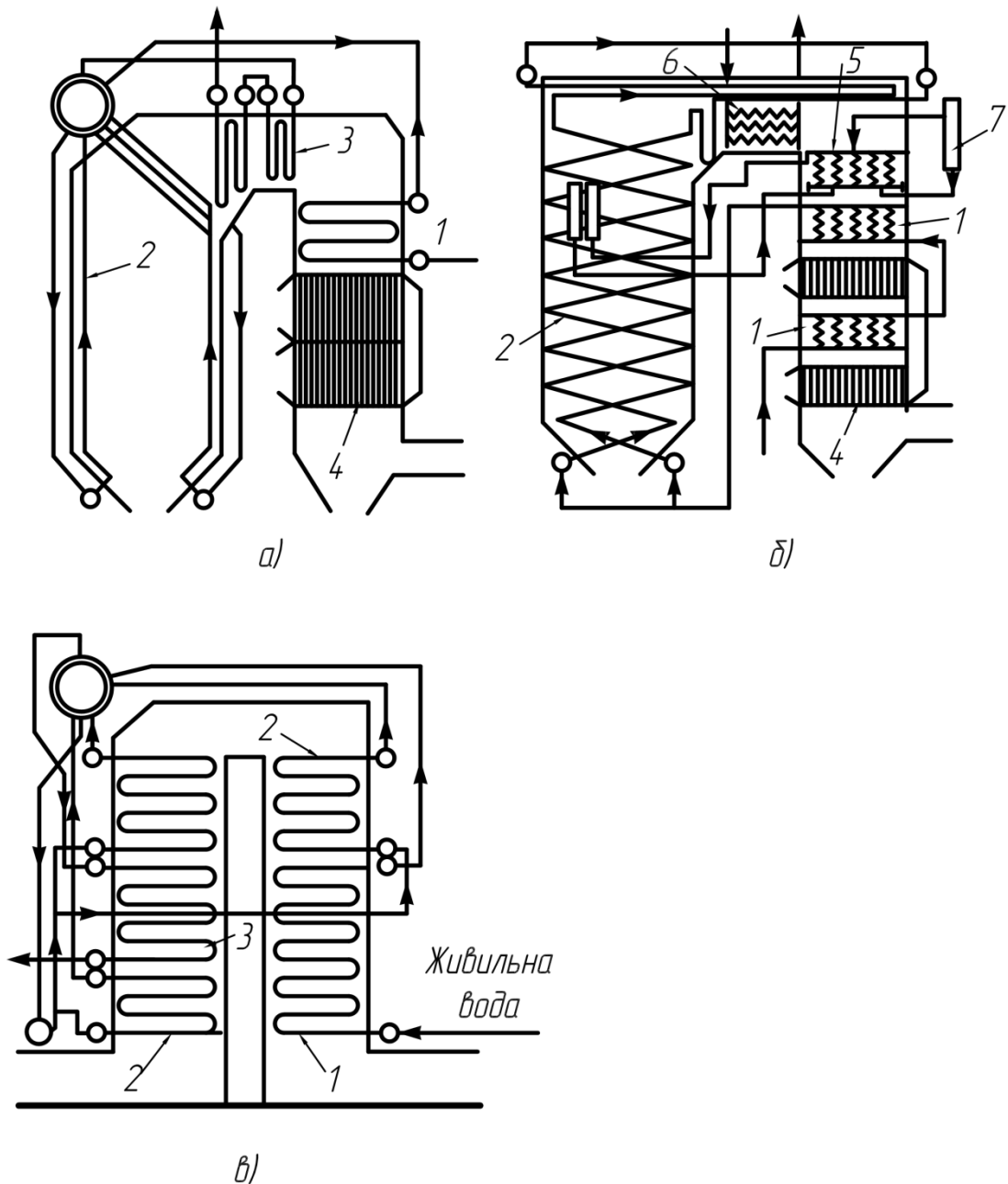
1.2.3 Основні параметри котлів

Основними параметрами котлів є:

- 1) номінальна паропродуктивність;
- 2) номінальний тиск пари;
- 3) номінальна температура перегріву пари;
- 4) номінальна температура живильної води.

Номінальна паропродуктивність (D , кг/с; т/год.) – це максимальна продуктивність котла, що досягається при його тривалій роботі на основному паливі при номінальних значеннях інших параметрів із припустимими відхиленнями.

Номінальний тиск пари (P_n , МПа; кг/см²) – це абсолютний тиск пари за пароперегрівником при номінальній продуктивності.



а) – барабанний з природною циркуляцією; б) – прямотоковий; в) – з багаторазовою примусовою циркуляцією; 1 – економайзер; 2 – випарювальні поверхні нагріву; 3- пароперегрівник; 4 – повітропідігрівник; 5 – перехідна зона випарювальної поверхні нагріву; 6 – конвективний пароперегрівник; 7 – сепаратор пари

Рисунок 1.4 – Типи котлів

Номінальна температура перегріву пари ($t_{n.n.}$, °C) – це температура пари за пароперегрівником при номінальних значеннях інших параметрів із припустимим відхиленням.

Номінальна температура живильної води ($t_{ж.в.}$, °C) – це температура живильної води на вході в економайзер при номінальних значеннях інших параметрів із припустимими відхиленнями.

У позначеннях котла вказується:

- 1) Тип котла (Е – котли з природною циркуляцією; Пр – котли з примусовою циркуляцією; П – прямоточні котли).
- 2) Номінальну паропроодуктивність у т/год.
- 3) Номінальний тиск пари (МПа, кг/см²).
- 4) Номінальну температуру перегріву пари в °C.
- 5) Вид палива, тип топки.

НАПРИКЛАД: Е-35-4,0-450-ГМ (котел із природною циркуляцією; номінальна паропроодуктивність $D = 35$ т/год.; номінальний тиск пари $P_n = 4$ МПа; номінальна температура перегріву пари $t_{п.п.} = 450$ °C; газомазутний).

Контрольні питання до теми 1.2

1. На які групи підрозділяються котельні установки?
2. Поясніть поняття кратності циркуляції.
3. Перелічіть основні параметри котлів.

Тема 1.3 Матеріальний і тепловий баланси котлів. ККД котла і витрата палива

1.3.1 Матеріальний баланс котла

Матеріальний баланс котла складається по двох трактах: газовому і пароводяному.

Рівняння матеріального балансу по газовому тракту має наступний вигляд:

$$B_n + L_n + \Sigma \Delta L = B_2 + \Sigma G_{зл}, \quad (1.3.1)$$

де B_n - витрата палива на котел, кг/с;

L_n - дійсна витрата повітря на горіння, кг/с;

$\Sigma \Delta L$ - сумарні присоси навколишнього повітря в топку і газоходи, кг/с;

B_2 - витрата продуктів горіння, кг/с;

$\Sigma G_{зл}$ - це сумарна, секундна кількість золи, що випадає в топці, у газоходах і уловленої в золоуловлювачі, кг/с.

Рівняння матеріального балансу по пароводяному тракту має наступний вигляд:

$$D_{ж.в.} = D_n + D_{пр.}, \quad (1.3.2)$$

де $D_{ж.в.}$ - витрата живильної води на котел, кг/с;

D_n - паропроодуктивність котла, кг/с;

$D_{пр.}$ - витрата води на продувку, кг/с.

Продувка – це виведення із випарної системи котельного агрегату частини котлової води і заміщення її живильною з метою підтримки необхідного солевмісту котлової води.

1.3.2 Тепловий баланс котла

Рівняння теплового балансу складається на 1 кг робочої маси твердого або рідкого палива, або на 1 м³ для газоподібного палива.

У загальному виді рівняння записується натупним чином:

$$Q_{приб.} = Q_{видат.} \quad (1.3.3)$$

де $Q_{приб.}$ - прибуткова частина балансу;

$Q_{видат.}$ - видаткова частина балансу.

Прибуткова частина балансу при спалюванні твердого або рідкого палива буде дорівнювати:

$$Q_{приб.} = Q_n^p \quad (1.3.4)$$

для газового палива: $Q_{приб.} = Q_n^c$.

Видаткова частина балансу буде мати вигляд

$$Q_{видат.} = Q_{кор.} + Q_{відх.} + Q_{х.н.} + Q_{м.н.} + Q_{з.о.} + Q_{ф.ш.} \quad (1.3.5)$$

де $Q_{кор.}$ - теплота корисновикористана на вироблення пари, також сюди включають теплоту води на продувку, кДж/кг;

$Q_{відх.}$ - втрати теплоти з відхідними продуктами згоряння, кДж/кг;

$Q_{х.н.}$ - втрати теплоти від хімічної неповноти горіння палива (хімічного недопалу), кДж/кг;

$Q_{м.н.}$ - втрати теплоти від механічної неповноти горіння палива (механічного недопалу), кДж/кг;

$Q_{з.о.}$ - втрати теплоти від зовнішнього охолодження огорожень котла, кДж/кг;

$Q_{ф.ш.}$ - втрати теплоти з фізичною теплотою шлаку, кДж/кг.

Розглянемо вираз для $Q_{кор.}$.

Ця теплота складається з теплоти, яка отримується живильною водою в економайзері

$$Q_{в.е.} = \frac{D \cdot (i''_{ж.в.} - i'_{ж.в.})}{B} \quad (1.3.6)$$

де D – паропроодуктивність котла, кг/с;

$i'_{ж.в.}, i''_{ж.в.}$ - ентальпія живильної води на вході й виході з економайзера, кДж/кг;

B – витрата палива на котел, кг/с; м³/с.

У випарній системі затрачується теплота:

$$Q_{вип.} = \frac{D \cdot (i_{н.п.} - i''_{ж.в.})}{B}, \quad (1.3.7)$$

де $i_{н.п.}$ - ентальпія насиченої пари.

Теплота, яка використовується в перегрівнику знаходиться за наступним рівнянням:

$$Q_{п.п.} = \frac{D \cdot (i_{п.п.} - i_{н.п.})}{B}. \quad (1.3.8)$$

Якщо скласти ці три вирази, то теплота, яка використовується на вироблення пари, буде визначатися наступним чином:

$$Q_{кор.} = \frac{D \cdot (i_{н.п.} - i'_{ж.в.})}{B}. \quad (1.3.9)$$

Останній вираз є найпростішим. З урахуванням теплоти води на продувку $Q_{кор.}$ має вигляд:

$$Q_{кор.} = \frac{D \cdot (i_{н.п.} - i'_{ж.в.}) + D_{пр.} \cdot (i_{кип.} - i'_{ж.в.})}{B}, \quad (1.3.10)$$

де $D_{пр.}$ - витрата продувної води, кг/с;

$i_{кип.}$ - ентальпія киплячої води, кДж/кг.

Витрата води на продувку пов'язана з паропродуктивністю наступним співвідношенням:

$$D_{пр.} = P \cdot D / 100, \quad (1.3.11)$$

де P – продувка, %.

Урахування теплоти продувки в тепловому балансі робиться тоді, коли, $P > 2\%$.

Перепишемо рівняння (1.3.5) у наступному вигляді:

$$Q_H^p = Q_{кор.} + Q_{відх.} + \dots + Q_{ф.ш.} \quad (1.3.12)$$

Розділимо обидві частини рівняння (1.3.12) на Q_H^p і помножимо на 100 %, одержимо:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (1.3.13)$$

де $q_1 = (Q_{кор.} / Q_H^p) \cdot 100\%$.

Таким чином, можна записати, що $q_1 = \eta_{к.а}$ (котельного агрегату) – к.к.д. котла бруто.

Підставляючи у вираз для к.к.д. вираз для $Q_{кор.}$, отримаємо:

$$\eta_{к.а.} = \frac{D \cdot (i_{н.п.} - i'_{ж.в.})}{B \cdot Q_H^p} \cdot 100 - \text{к.к.д. брутто.} \quad (1.3.14)$$

В останньому виразі не враховуються витрати енергії на потреби самого котла, а саме, на привод насосів, вентиляторів, димососів і т.ін. З урахуванням цих витрат вираз для к.к.д. котельної установки має вигляд:

$$\eta_{к.у.} = \frac{D \cdot (i_{н.п.} - i'_{ж.в.})}{Q_H^p \cdot (B + \Sigma N_c \cdot b)} \cdot 100 - \text{к.к.д. нетто,} \quad (1.3.15)$$

де ΣN_c - сумарна потужність, самоспоживання енергії котлом, кВт;

b – питома витрата палива на одиницю енергії, кг/кДж.

Обумовлений у такий спосіб к.к.д. отримують із прямого балансу (рівняння (1.3.13)). Однак на практиці к.к.д. брутто визначають зі зворотного балансу, тобто

$$q_1 = 100 - \Sigma q_{витрат}, \quad (1.3.16)$$

де $\Sigma q_{витр.} = q_2 + q_3 + \dots + q_6$.

Тоді витрата палива знаходиться по формулі:

$$B = \frac{D \cdot (i_{н.п.} - i'_{ж.в.})}{\eta_{к.а.} \cdot Q_H^p}. \quad (1.3.17)$$

1.3.3 Втрати теплоти з відхідними газами (q_2).

Ці втрати є основними в котлах. Їхня величина визначається температурою відхідних газів надлишком повітря в продуктах горіння.

Температура газів, що залишають котел, не може бути знижена до температури, при якій відбувається конденсація водяної пари, що утримується в продуктах горіння, тому що при цьому має місце корозія поверхонь нагрівання повітропідігрівника. Надлишок повітря в продуктах горіння залежить від величини присосів холодного повітря в котел. Тому для зменшення втрат з відхідними газами, котел повинний бути ущільнений. Величина втрат q_2 складає (5-12)%.

1.3.4 Втрати теплоти від хімічного недопалу (q_3).

Хімічний недопал означає, що процес окислювання горючої частини палива не йде до кінця. При цьому в продуктах горіння, поряд з вищими окислами, утримуються горючі гази CO, H₂, CH₄.

Величина q_3 залежить від виду палива, що спалюється, від типу топки і від способів спалювання. $q_3 = (0...2)\%$ (0 – для газів, більше 0 – для твердих палив).

Основними причинами появи хімічного недопалу є:

- нестача повітря при горінні палива;
- неякісне змішання палива з повітрям.

1.3.5 Втрати теплоти від механічного недопалу (q_4).

Мають місце тільки при спалюванні твердого палива. Наявність цих втрат означає, що частина палива не бере участь у процесі горіння. Це друга за значенням складова втрат у тепловому балансі і може досягати 12 %.

З врахуванням механічного недопалу в тепловому розрахунку котла вводиться поняття розрахункової витрати палива.

$$B_p = B \cdot (1 - q_4/100).$$

1.3.6 Втрати теплоти від зовнішнього охолодження (q_5).

Втрати теплоти від зовнішнього охолодження виникають унаслідок того, що температура обшивки котла вище температури навколишнього середовища. При цьому теплопередача відбувається шляхом випромінювання і конвекції.

1.3.7 Втрати теплоти з фізичною теплотою шлаку (q_6).

Ці втрати враховують тільки при спалюванні твердого палива, в основному при рідкому шлаковидаленні. При твердому шлаковидаленні ця стаття в балансі враховується при високій зольності палива.

Контрольні питання до теми 1.3

1. По яким двом трактам складається матеріальний баланс котельного агрегату?
2. З яких частин складається тепловий баланс котельного агрегату?
3. Які статті містить у собі прибуткова частина теплового балансу?
4. Які статті містить у собі видаткова частина теплового балансу?
5. Які види теплових втрат ви знаєте?

РОЗДІЛ 2

ТОПКОВІ ПРОЦЕСИ Й УСТАТКУВАННЯ

Тема 2.1 Класифікація топок і основні показники їхньої роботи

2.1.1 Класифікація топок

У котлах паливо спалюється в топках. Загальна класифікація топочних пристроїв представлена на *рисунку 2.1*.

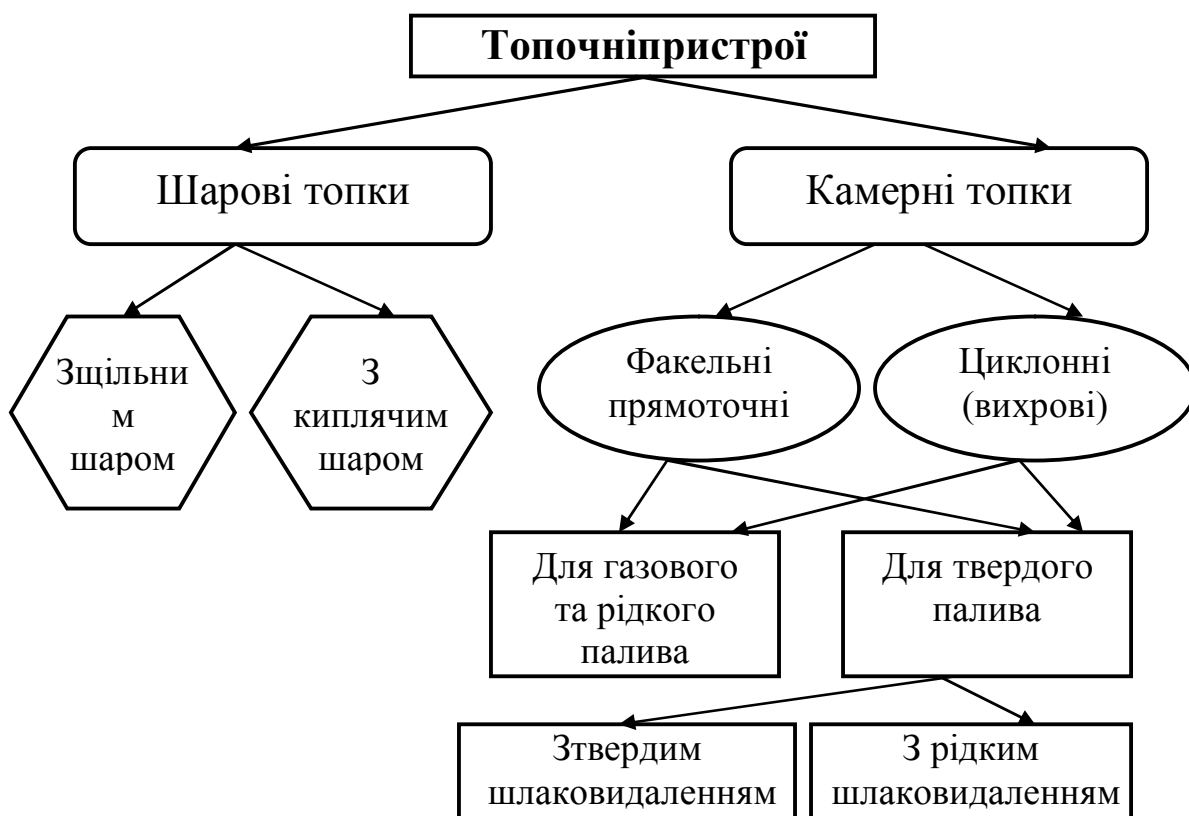


Рисунок 2.1- Загальна класифікація топкових пристроїв

2.1.2 Основні показники роботи топок

1) Теплова продуктивність

$$Q = B \cdot Q_n^p, \text{ МВт,}$$

де B – витрата палива, кг/с; м³/с.

2) Коефіцієнт витрати (надлишку) на виході з топки (α_m'').

3) Хімічна неповнота спалювання палива ($q_{x.n.}$, %).

4) Механічна неповнота спалювання палива ($q_{м.н.}$, %).

5) Видима, об'ємна щільність тепловиділення, q_v :

$$q_v = B \cdot Q_H^P / V_m, \text{ МВт/м}^3.$$

6) Щільність теплового потоку, дзеркало горіння, q_F :

$$q_F = B \cdot Q_H^P / F, \text{ МВт/м}^2.$$

7) Температура гарячого повітря, яке подається в топку, $t_{г.п.}$, °С.

8) Частка золи, яка виноситься з топки, $a_{вин.}$.

2.1.3 Способи спалювання твердого палива

Схеми організації топкових процесів представлені на **рисунку 2.2**.

На схемі **а)** тверде кускове паливо нерухомо лежить на ґратах і продувається знизу нагору повітрям, при цьому сила ваги часток палива більша сили аеродинамічного тиску потоку.

На схемі **б)** також паливо продувається знизу повітрям, однак тут вже сила ваги часток приблизно дорівнює силі аеродинамічного тиску потоку. Частки в цьому шарі роблять безперервний зворотно-поступальний рух, відбувається як би «кипіння», при цьому об'єм шару збільшується в 1,5...2 рази, у порівнянні, із щільним шаром. Тут досягається більш повне вигорання палива.

Схема **в)** найбільш розповсюджена в котловій техніці. Тут тверде паливо у вигляді вугільного пилу спалюється в об'ємі топкової камери. При твердому шлаковидаленні ці топки в нижній частині мають сховану холодну воронку.

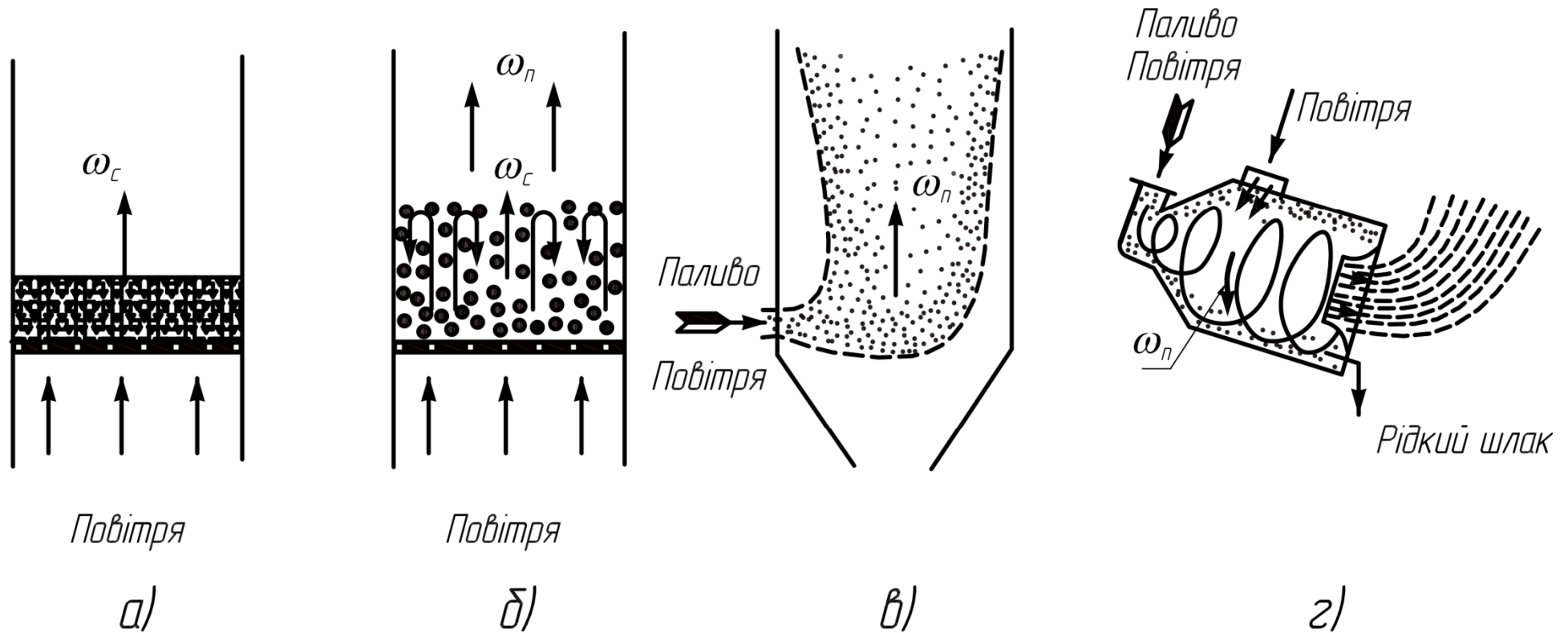
Перспективним видом топки є схема **г)**. На відміну від схеми **в)**, де частка палива рухається в газоповітряному потоці і вигорає при однократному проходженні камери. У циклонних топках частка багаторазово циркулює по об'єму камери. Тому, якщо в камерних топках спалюють вугільний пил, тобто частки розміром порядку десятка і сотень мікрометрів, то в циклонних топках спалюються частки в кілька міліметрів. У циклонних топках за рахунок відцентрових сил частки відкидаються до стінок, при цьому поблизу стінок циклона утворюється ущільнений палаючий шар палива і температури такі, що при плавленні золи утворюється рідкий шлак.

2.1.4 Принципова схема котла з киплячим шаром

Принципова схема котельного агрегату з розміщенням випарних і пароперегрівальних поверхонь у киплячому шарі представлена на **рисунку 2.3**.

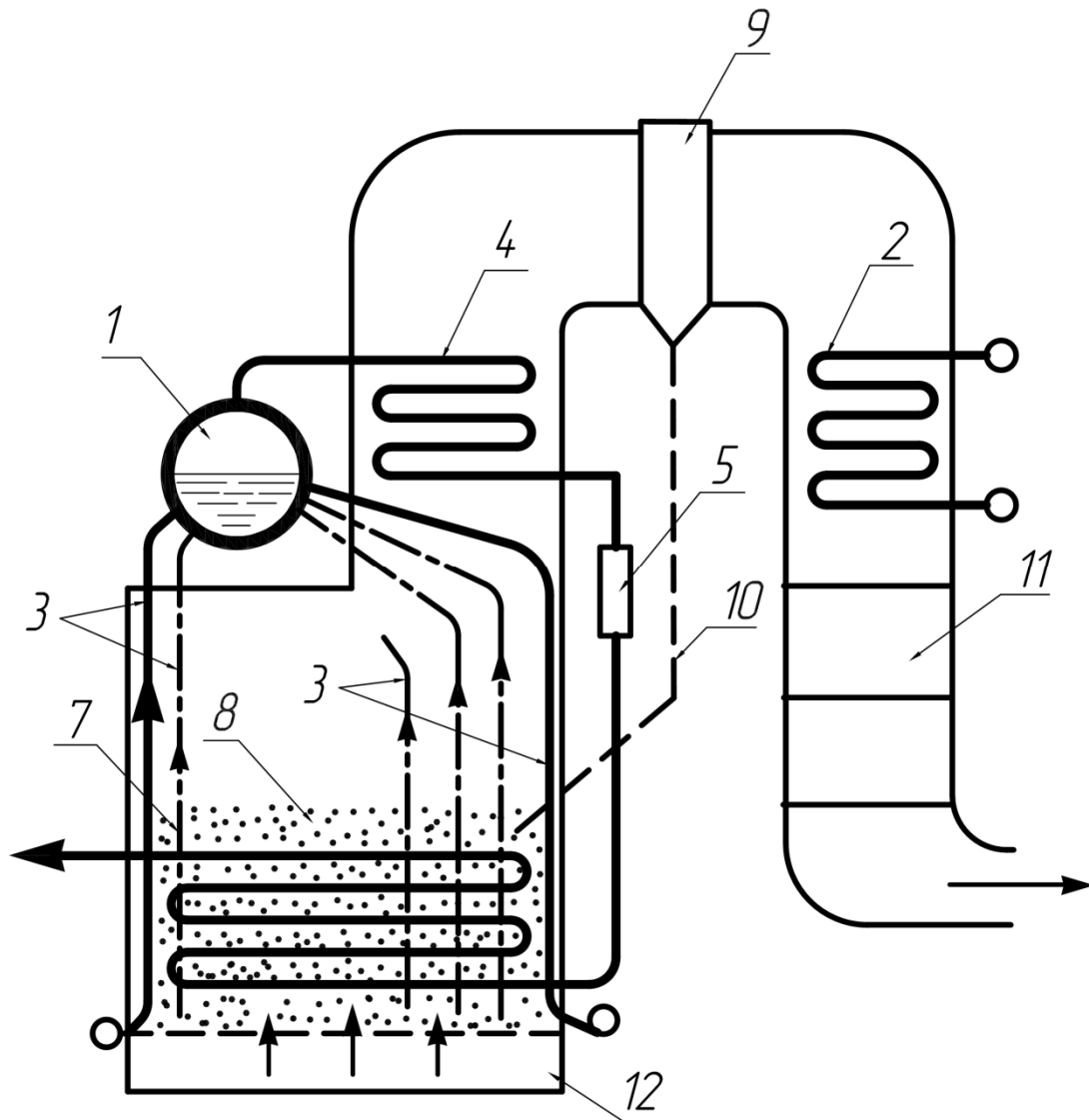
У сучасних котлах з киплячим шаром організується не тільки спалювання твердого палива в киплячому шарі, але також частина поверхонь нагрівання (випарних і пароперегрівника) розміщується безпосередньо в цьому шарі. Це дозволяє збільшити теплопередачу до цих поверхонь і тим самим скоротити (зменшити) їхню поверхню.

Найбільш розповсюдженим типом топок є камерні, у яких тверде паливо спалюється у видіпилу.



а – у щільному фільтруючому шарі; б – у киплячому шарі; в – факельний прямотоковий процес; г – циклонний процес

Рисунок 2.2 – Схеми організації топкових процесів



1 – барабан котла; 2 – водяний економайзер; 3 – випарювальні поверхні; 4 - конвективний пакет пароперегрівника; 5 – пароохолоджувач; 6 – вихідний пакет пароперегрівника; 7 – подача палива; 8 – киплячий шар; 9 – сепаратор пилу; 10 – повернення пилу в киплячий шар; 11 – повітропідігрівник; 12 – подача повітря в киплячий шар

Рисунок 2.3 – Принципова схема котла з розміщенням випарювальних та пароперегрівникових поверхонь в киплячому шарі

Контрольні питання до теми 2.1

1. По якому принципу класифікуються топкові пристрої?
2. Назвіть основні показники роботи топок.
3. Які способи спалювання твердого палива ви знаєте?

Тема 2.2 Пилоготування. Сушіння і розмелювання палива

2.2.1 Пилоготування та його принципові схеми

Спалювання у виглядіпилу має наступні переваги:

- 1) збільшення поверхні горіння палива;
- 2) можливість повної автоматизації процесу горіння;
- 3) можливість спалювання будь-якого палива;
- 4) практично необмежена паропроодуктивність агрегату.

Принципові схеми систем пилоготування представлені на *риунку2.4*.

Схема *а)* застосовується на великих електростанціях. Тут перед розмелюванням в млині 3 проводиться його підсушування в сушарці 2 за розімкнутою схемою. При цьому відпрацьований сушильний агент (гаряче повітря або продукти горіння) викидаються в атмосферу. **Перевага:** незалежність роботи млина від навантаження котлоагрегатів.

Схема *б)* – це схема пилоготування безпосередньо у котла. Ця схема замкнута, тому що сушильний агент скидається в топку. Це замкнута схема по сушінню. **Недолік:**твердий зв'язок млина 3 з навантаженням котлоагрегату. Цей недолікдолається в схемі в).

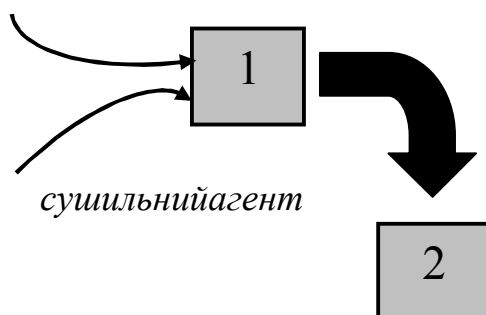
Схема *в)*. Тут за допомогою шнека 10 пил може передаватися від одного котла до іншого. Ця схема застосовується для більш дрібного помелу.

2.2.2 Сушіння палива

Сушінняпроводиться з метою:

- 1) поліпшення розмелювання палива;
- 2) полегшення транспортування пилу до пальників;
- 3) поліпшення процесу спалювання вугільного пилу.

паливо

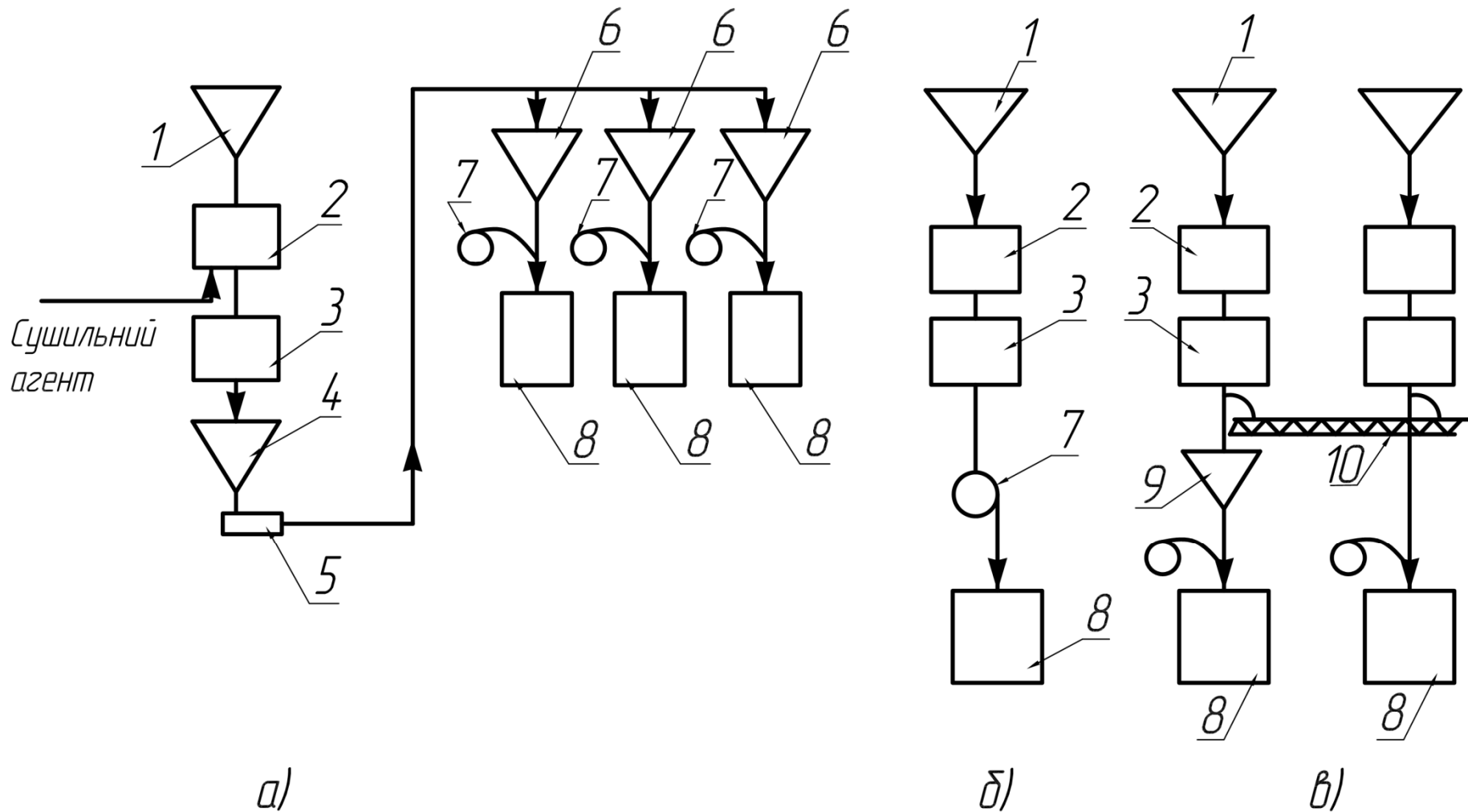


1 – млин; 2 - топка

Загальну вологість палива можна представити як суму:

$$W^P = W^{308.} + W^{212.},$$

де W^P - вологість робочого палива;



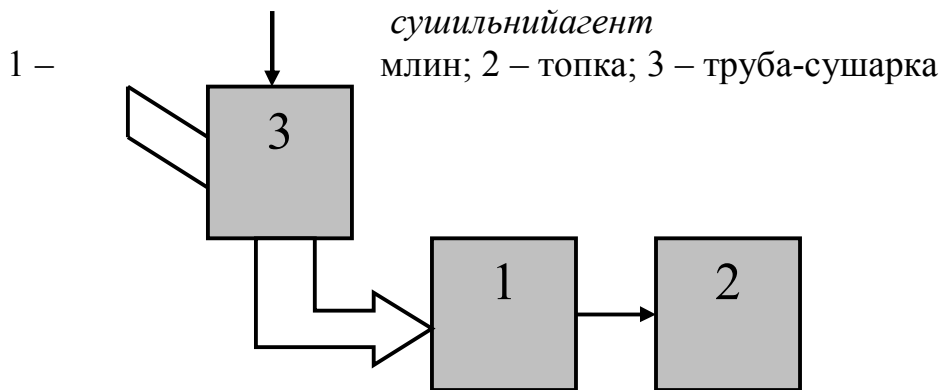
а – центральна; б – індивідуальна з прямим вдуванням; в – індивідуальна з проміжним пиловим бункером; 1 – бункер сирого дробленого вугілля; 2 – сушарка; 3 – млин; 4 – центральний бункер готового пилу; 5 – насос для пилу; 6 – витратний бункер; 7 – вентилятор; 8 – топка котла; 9 – проміжний бункер; 10 – шнек для пилу

Рисунок 2.4 – Принципові схеми систем пилоготування

W^{306} - зовнішня вологість;

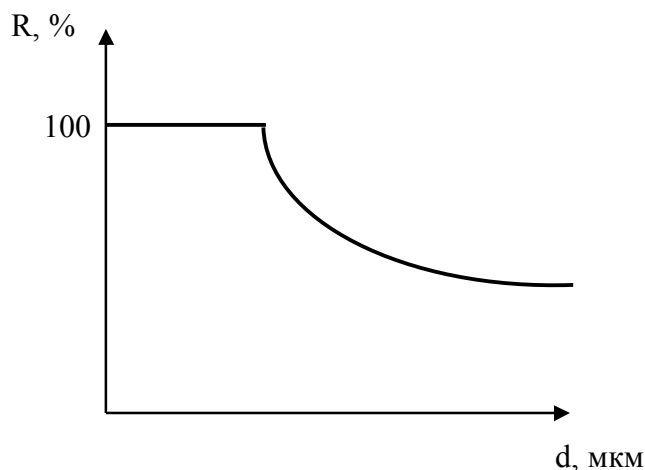
W^{2i2} - гігроскопічна вологість.

Якщо $W^{306} < 10\%$ - сушіння може проводитися разом з розмелом у млині 1; якщо $W^{306} = (10...20)\%$ -до розмелювання паливо підсушують у трубах-сушарках; якщо $W^{306} > 20\%$, то застосовують сушіння палива в окремих сушарках за розімкнутою схемою



2.2.4 Розмелювання палива

При розмелюванні палива одержують пил різних розмірів від декількох мікрометрів до сотень мікрометрів. Тому для характеристики складу готового вугільного пилу застосовують так звані ситові характеристики. Для цього використовують стандартні сита з розміром осередків: 90, 100, 200 мкм. Вугільний пил просівають і заміряють залишок на ситах і позначають $R_{90} = 20\%$. І після просівання палива будується наступна характеристика.



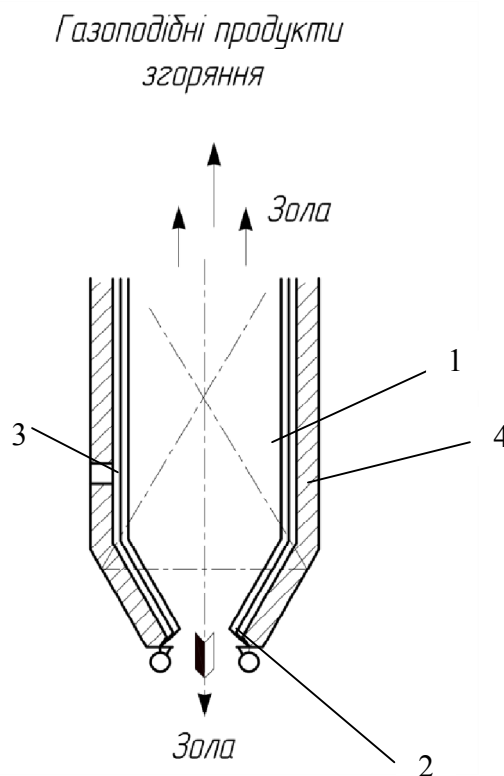
Контрольні питання до теми 2.2

1. З якою метою проводиться процес пилотування?
2. Які схеми пилотування ви знаєте?
3. З якою метою проводиться сушіння і розмелювання палива?

Тема 2.3 Топки з твердим і рідким шлаковидаленням

2.3.1 Принципова схема топки з твердим шлаковидаленням

Схема топки з твердим шлаковидаленням і схема запального пояса представлені відповідно на *рисунках 2.5 і 2.6*, відповідно.

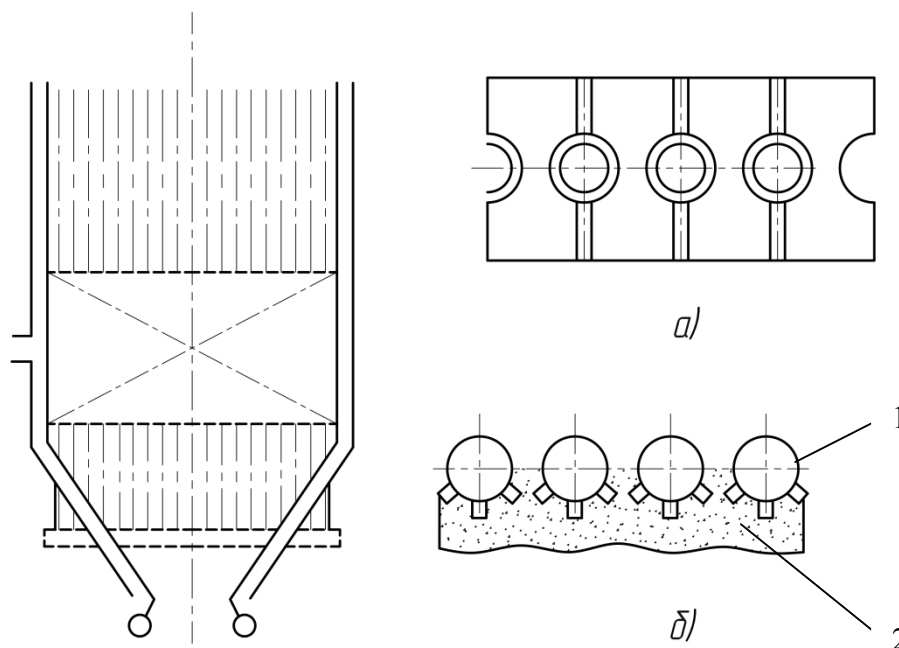


1- топкова камера; 2- холодна шлакова воронка; 3- пальник (пальникова амбразура); 4- підйомні труби топкових екранів

Рисунок 2.5 – Схема топки з твердим шлаковидаленням

При спалюванні палива зола в ядрі факела плавиться, однак за рахунок екранування стін топки трубами, за рахунок теплопередачі, температура золи знижується, що забезпечує її затвердіння. При цьому топки знизу відкриті і виконані зі звуженням, у вигляді холодної воронки 2. Однак у таких топках уловлюється не більш (5...10)%золи, основна маса несетьсяз потоком продуктів згорання. Це призводить до того, що зола в газоходах осідає на поверхнях нагрівання і також руйнує метал труб, тому швидкість руху потоку продуктів згорання обмежують, а це знижує інтенсивність теплопередачі. Крім того, холодна воронка негативно впливає на спалювання палива. Тому пальники 3 прагнуть віддалити від холодної воронки. Для повноти спалювання палива температура наприкінці факелу повинна бути не нижче 1300 °С для забезпечення повноти його вигорання. Однак при цьому зола буде плавитися. Тому в таких топках температура на виході з топки підтримується на рівні ≈ 1000 °С.

Для подолання недоліків цих топок розроблені топки з рідким шлаковидаленням.



1- ошиповані труби; 2- вогнетривка обмазка

Рисунок 2.6 – Запальний пояс

2.3.2 Принципова схема топок з рідким шлаковидаленням

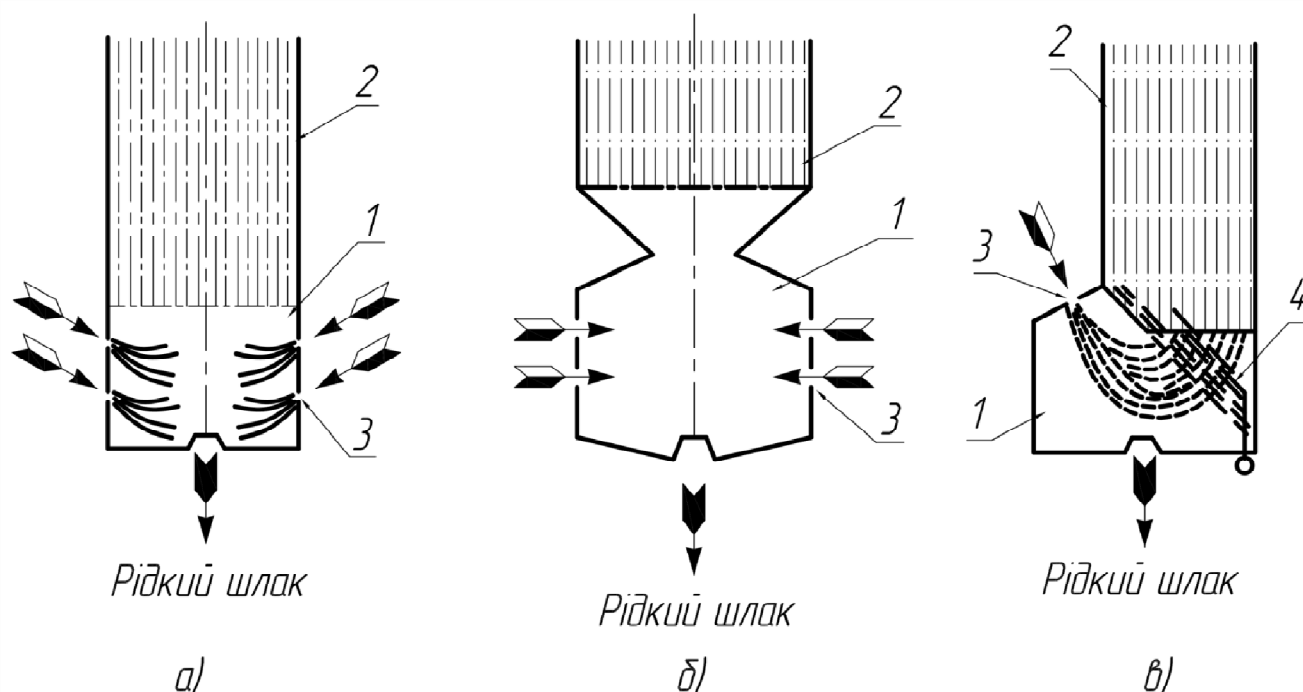
Схеми пилувугільних факельних топок з рідким шлаковидаленням представлені на **рисунок 2.7**.

На схемі **а)** показана однокамерна відкрита топка з рідким шлаковидаленням. Тут у нижній частині топки труби вкриті вогнетривкою обмазкою, що дозволяє створити зону високих температур для розплавлення золи (зона 1). При цьому шлак у рідкому стані видаляється через лютку. У таких топках можна уловити до 30 % золи. **Недолік**—це перехід від зони 1 до зони 2, де відбувається інтенсивне шлакування труб.

Цей недолік у значній мірі усувається в схемі **б)**, де топка виконана з пережимом (напіввідчинена топка). У схемі б) уловлюється до 40 % золи палива.

На схемі **в)** представлена двокамерна топка з рідким шлаковидаленням. Тут поділ топки на камери проводиться за допомогою шлако-сепараційних ґрат 4, які представляють собою розведені труби. У схемі **в)** уловлюється до 70 % золи палива.

Найбільш повне уловлювання золи і видалення її в рідкому стані досягається в циклонних топках.



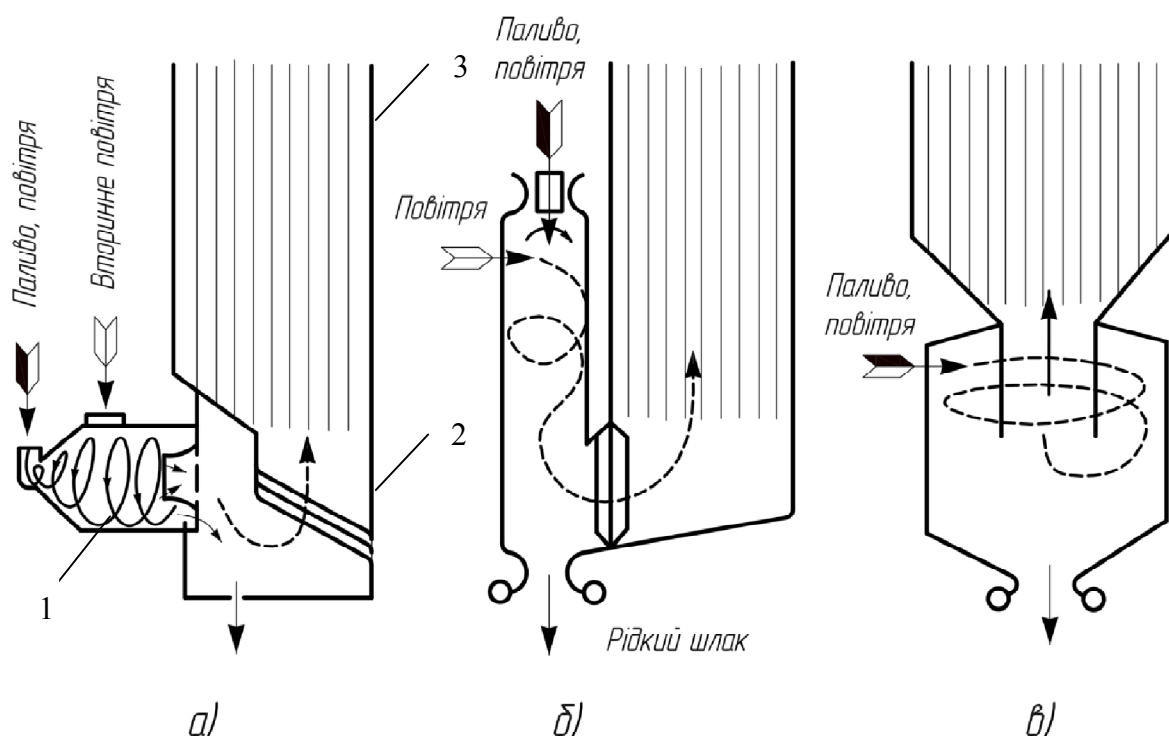
1 – поверхня топки, яка покрита вогнетривкою обмазкою; 2 – холодна радіаційна поверхня; 3 – подача палива; 4 – шлаковловлюючий пучок труб, покритий гарнісажною футерівкою

Рисунок 2.7 – Схеми пилувугільних факельних топок з рідким шлаковидаленням

2.3.3 Циклонні топки з рідким шлаковидаленням згоризонтальним розташуванням циклона

Схема циклонних топок з рідким шлаковидаленням представлена на **рисунку 2.8**.

У циклон подається дроблений або грубий пил, тангенціально через щілини подається повітря, при цьому повітряний потік створює могутній вихор у циклоні. У циклоні 1 відбувається повне вигорання великих часток палива і розплавлювання золи, а дрібні частки виносяться з потоком продуктів горіння в камеру допалювання 2, де вигорають, що дозволяє уловлювати в таких топках до 95 % золи палива і видаляти шлак у рідкому стані.



1- циклон; 2- камера допалення; 3-камера охолодження
 а – горизонтальна топка; б – вертикальна топка з нижнім видаленням газів;
 в – вертикальна кільцева топка з верхнім видаленням газів

Рисунок 2.8 – Схема циклонних топок з рідким шлаковидаленням

2.3.4 Схеми топкових камер для спалювання газоподібного палива

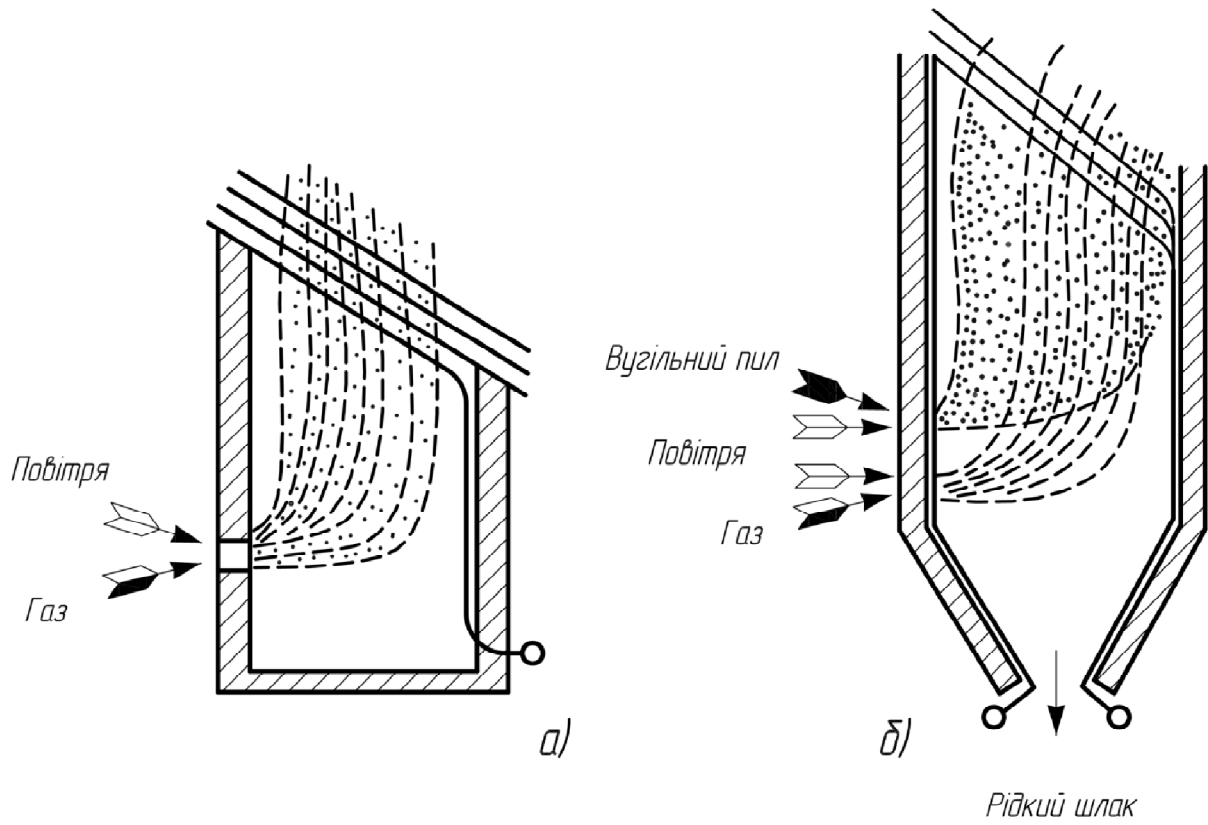
Схеми топкових камер для спалювання газового палива представлені на **рисунку 2.9**.

Схема **а)** призначена для спалювання газу або газу разом з мазутом (відмінність у відсутності холодної воронки).

У схемі **б)** відбувається спалювання газу і вугільногопилу (пальники розташовуються поярусно).

Контрольні питання до теми 2.3

1. У чому відмінність топок із твердим і рідким шлаковидаленням?
2. Які конструктивні особливості циклонних топок з рідким шлаковидаленням?
3. Які топки застосовуються для спалювання газоподібного палива?



а – при спалюванні газу або газу разом з мазутом; б – при спалюванні газу та вугільного пилу

Рисунок 2.9 – Схеми топочних камер для спалювання газового палива

РОЗДІЛ 3

ПОВЕРХНІ НАГРІВУ ПАРОВИХ КОТЛІВ

Тема 3.1 Призначення і конструювання пароперегрівника, економайзера і повітропідігрівника

3.1.1 Випарні поверхні нагрівання

Вони підрозділяються на:

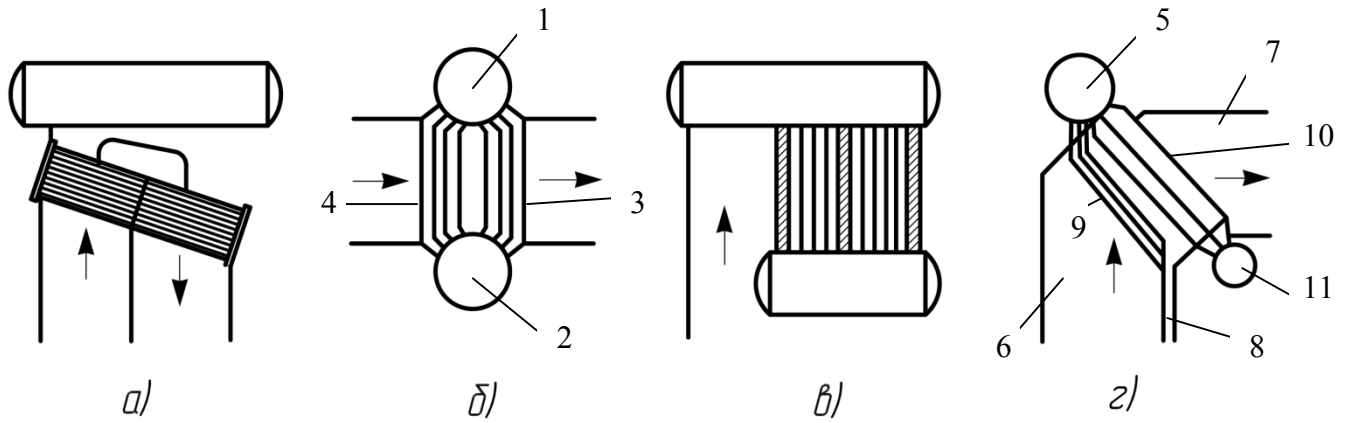
- конвективні (випарні) пучки;
- напіврадіаційні поверхні (до них відносяться фестони);
- радіаційні поверхні (топкові екрани).

У котлах з низькими параметрами ($p = 1,3 \dots 2,1 \text{ МПа}$, $t = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ та малої потужності) виявляються необхідними конвективні поверхні нагрівання, у яких передається до 30 % тепла, необхідного для випару води. У котельних агрегатах із природною циркуляцією при середніх параметрах пари $p = 3,93 \text{ МПа}$, $t = 450 \text{ }^\circ\text{C}$ для забезпечення додаткової пароутворюючої поверхні нагрівання також застосовують випарні конвективні пучки. У котлах із природною циркуляцією, що виробляють пару високих параметрів $p > 9,81 \text{ МПа}$, $t > 500 \text{ }^\circ\text{C}$, кількість тепла, що використовується на пароутворення, значно знижується й теплосприйняття екранів виявляється достатнім для випару води.

У котлах із природною циркуляцією низького й середнього тиску конвективні випарні поверхні нагрівання виконуються у вигляді декількох рядів вертикально розташованих підйомних й опускних труб із внутрішнім діаметром 40...60 мм, ввальцованих або приварених через штуцера до верхнього барабану або колектора. Переважно застосовується поперечне омивання труб потоком продуктів згоряння.

Схема конвективних випарних поверхонь нагрівання представлена на **рисунку 3.1**. Конвективні пучки в основному використовуються в котлах низького тиску (**рис.3.1 (б)**). Це пов'язано з великою часткою теплоти, яка йде на випарювання води в цих котлах. У котлах низького тиску основна частина теплоти витрачається на випарювання води, тому тут і застосовують конвективні випарні пучки. У котлах середнього тиску (**рис.3.1 (г)**) також іноді застосовують такі пучки, які розміщують за фестоном. Фестон є продовженням труб заднього екрана, які на виході з топки розводять (розріджують), для того щоб збільшити прохідний перетин для продуктів згоряння.

Основними випарними поверхнями в котлах є топкові екрани, що покривають стіни топки. У топках теплообмін відбувається за допомогою випромінювання.

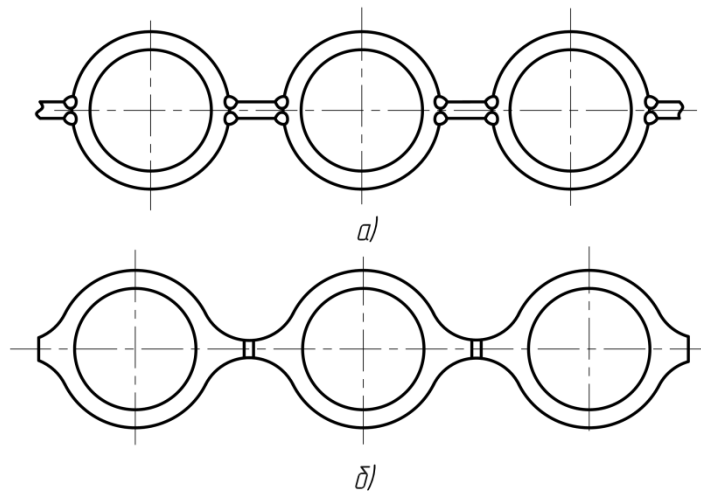


а) – горизонтально-водотрубні котли низького тиску; б) і в) – вертикально-водотрубні котли низького тиску; г) – енергетичні котли середнього тиску

1-верхній барабан; 2-нижній барабан; 3-підйомні труби; 4-опускні труби; 5-барабан; 6-топка; 7-горизонтальний газохід; 8-труби заднього екрана топки; 9-трьохрядний фестон; 10-конвективний пучок; 11-колектор

Рисунок 3.1 – Схеми конвективних випарних поверхонь

Конструкція газощільних екранних панелей із привареними до труб ребрами прямокутного перетину, а також екранних панелей, складених зі спеціальних плавникових труб, показана на **рисунку 3.2**.



а – ребра прямокутного перетину, які приварені до труб; б – плавникові труби

Рисунок 3.2 – Газощільні панелі

При таких конструкціях екранів внаслідок передачі частини тепла плавниками тильній стороні труб і перетворення їх в активні поверхні нагрівання забезпечується підвищене теплосприйняття екранів і зменшення на

15...20 % їхньої питомої ваги на одиницю теплосприйняття порівнянні зі звичайними гладкотрубними екранами. Газощільні панелі поліпшують умови роботи обмуровки топки й зменшують імовірність інтенсивного шлакування екранів.

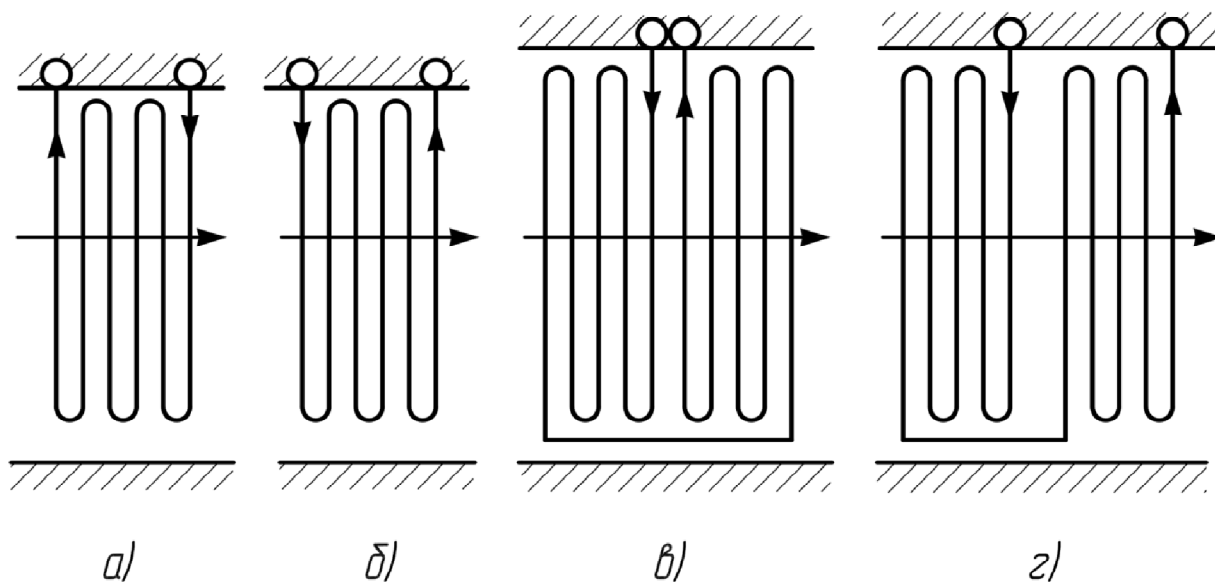
Газощільні екрани мають наступні переваги:

- захищають стіни топки від шлакування;
- збільшують теплопередачу за рахунок збільшення поверхні теплообміну.

3.1.2. Пароперегрівники і їх компоновка

Пароперегрівники служать для перегріву насиченої пари. Їх підрозділяють на конвективні, напіврадіаційні і радіаційні.

Схеми руху пари і продуктів згоряння в конвективних пароперегрівниках представлені на *рисунку 3.3*.



а) – протитокова схема; б) – прямоточна схема; в) і з) – змішана схема

Рисунок 3.3 – Схеми руху пари та продуктів згоряння в конвективних пароперегрівниках

Конвективні пароперегрівники являють собою змійовикові поверхні, при цьому використовується коридорне розташування труб. При цьому, у залежності від напрямку руху продуктів горіння і пари розрізняють три основні схеми:

- протиток;
- прямоток;
- в) і г) змішана схема.

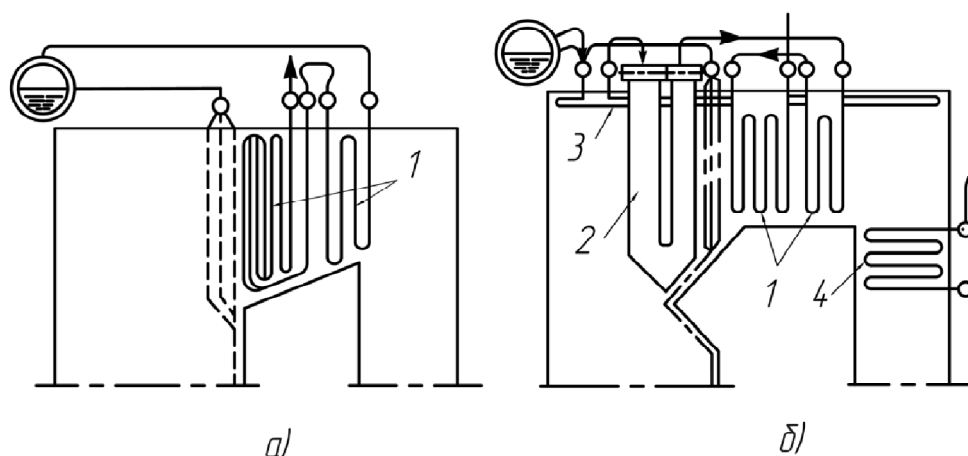
З погляду теплової ефективності кращою є схема *а) протиток*, однак метал труб тут працює в найбільш важких умовах, тому що на виході пари температура газів найбільша.

Прямоток (*схема б*) менш ефективна, однак метал труб тут буде мати більш низьку температуру. Тому на практиці застосовують схеми *в) і з) - змішані*, де перегрів пари завершується в прямоотці.

У котлах високого тиску теплосприйняття конвективних поверхонь недостатньо для перегріву пари, тому тут застосовують напіврадіаційні (ширмові) або радіаційні (настінні, стельові) пароперегрівники. Ширмові являють собою систему труб, зібраних у щільний пакет.

Компонування пароперегрівника залежить від тиску пари. Розглянемо типові компонування для котлів середнього і високого тиску.

Схеми пароперегрівників представлені на *рисунку 3.4*.



а – 3,9 МПа, 440 °С; *в* – 13,8 МПа, 570/570 °С;

1 – конвективний первинний пароперегрівник; *2* – ширмовий первинний пароперегрівник; *3* – стельовий пароперегрівник; *4* – конвективний проміжний пароперегрівник

Рисунок 3.4 – Схеми пароперегрівників

У схемі *а*) пароперегрівник розміщується в горизонтальному газоході за фестоном. У схемі *б*) ширмовий пароперегрівник *2* розміщується перед фестоном, радіаційний *3* – на стелі топки і горизонтального газоходу. Конвективний пароперегрівник також включається за змішаною схемою.

3.1.3. Регулювання температури пари

Температура перегріву пари залежить від ряду факторів:

- паропроductивності;
- виду палива, що спалюється;

- стану поверхонь нагрівання котла;
- температури живильної води.

Відповідно до Держстандарту температура перегріву пари:

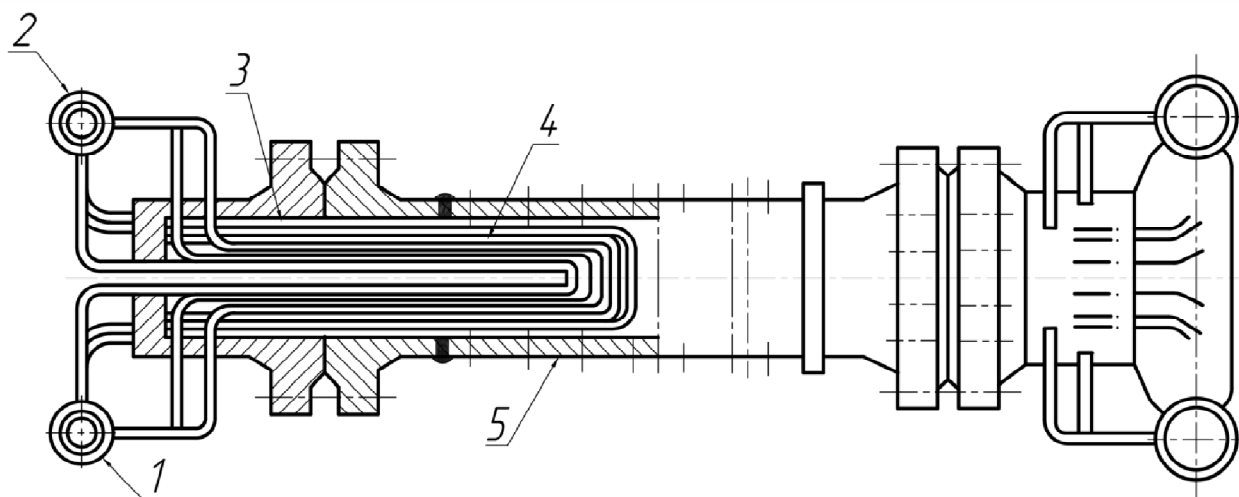
- для котлів середнього тиску може відхилятися від номінального значення в межах від (+ 10 ... +15) °С;
- для котлів високого тиску – (від + 5 ... + 10) °С.

На практиці застосовують два методи регулювання температури пари:

- паровий;
- газовий.

Паровий полягає у впливі безпосередньо на ступінь охолодження пари (зміна його ентальпії), а газовий полягає у впливі на теплосприйняття пароперегрівника шляхом зміни інтенсивності теплопередачі.

Конструктивні схеми пароохолоджувачів представлені на **рисунку 3.5 (поверхневий пароохолоджувач)** і **3.6 (пароохолоджувач, що впорскує)**.



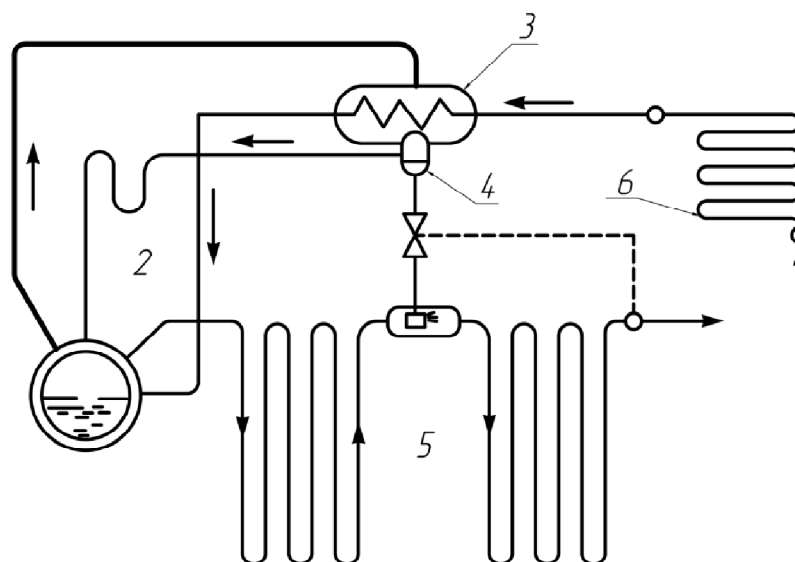
1 – вхідний колектор охолоджуючої води; 2 – вихідний колектор води; 3 – вхідна камера; 4 – труби, які охолоджуються водою; 5 – корпус пароохолоджувача

Рисунок 3.5 – Поверхневий пароохолоджувач

Схеми газового регулювання температури пари представлені на **риунку 3.7**.

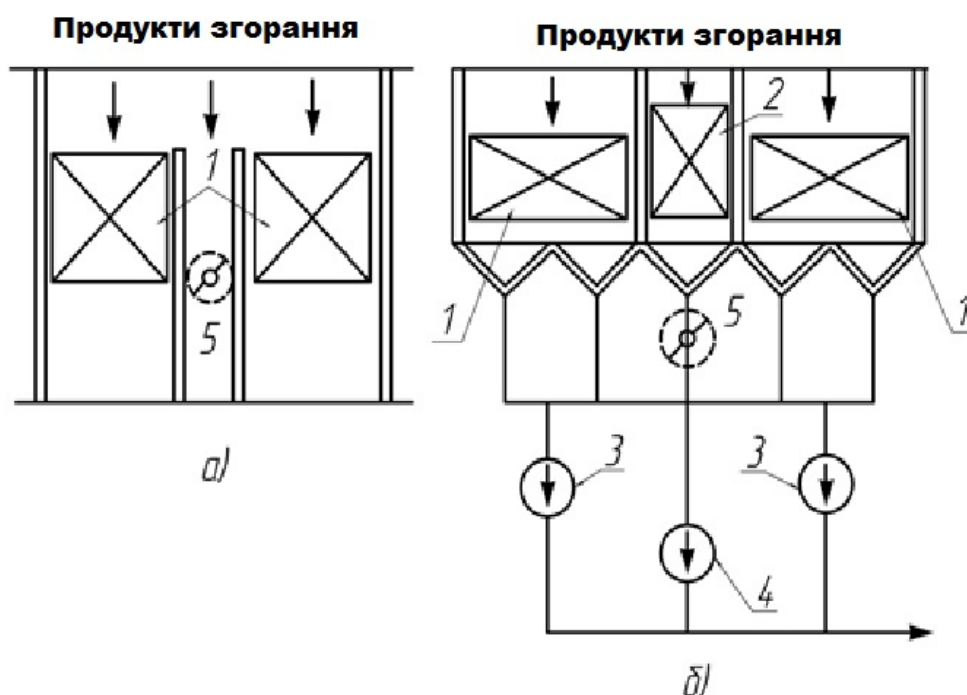
На **рисунку 3.5** представлений пароохолоджувач, у якому ентальпія пари знижується за рахунок передачі теплоти живильній воді, що надходить у котел. При цьому вода рухається по трубах, а пара зовні омива ці труби. Пароохолоджувачі звичайно включають «у розсічку» між східцями пароперегрівника. Пароохолоджувач по воді звичайно включається послідовно з економайзером. Схема включення поверхневого пароохолоджувача представлена на **рисунку 3.8**.

На **рисунку 3.6** показане регулювання температури пари шляхом впорскування в потік пари живильної води. При цьому воду розпилюють за допомогою форсунки на дрібні струмені.



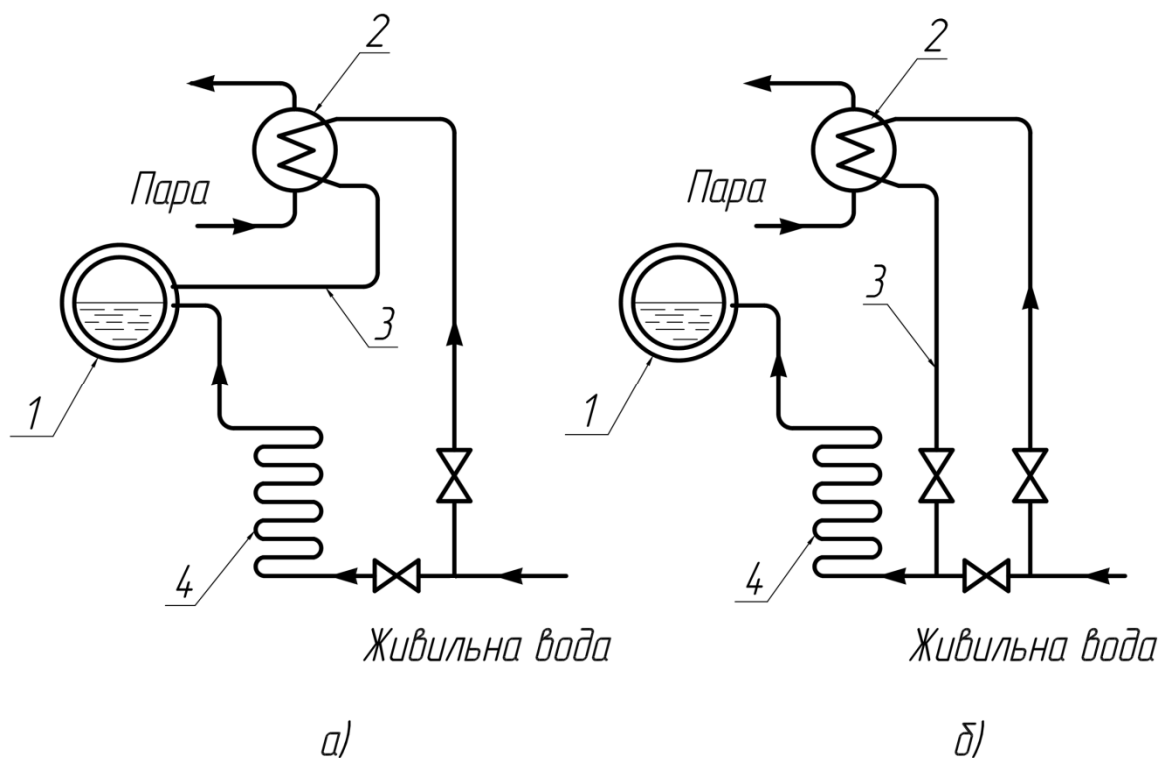
1 – барабан; 2 – гідрозатвор; 3 – пароохолоджувач; 4 – ємність конденсатора; 5 – колектор з пристроєм, що впорскує

**Рисунок 3.6 – Схема регулювання температури пари
впорскуванням власного конденсату**



а) пропускання частини продуктів згорання через холостий газохід;
б) розподіл продуктів згорання по газоходах пароперегрівника;
1 – секції пароперегрівника; 2 – економайзери; 3 – основний димосос;
4 – регулюючий димосос; 5 – регулюючий шибер (повітропідігрівачі не показані)

Рисунок 3.7 –Схеми газового регулювання температури пари



а) паралельна схема; б) послідовна схема;

1 – барабан; 2 – пароохолоджувач; 3 – відведення охолоджуючої води; 4 – водяний економайзер

Рисунок 3.8 – Схеми включення поверхневого пароохолоджувача

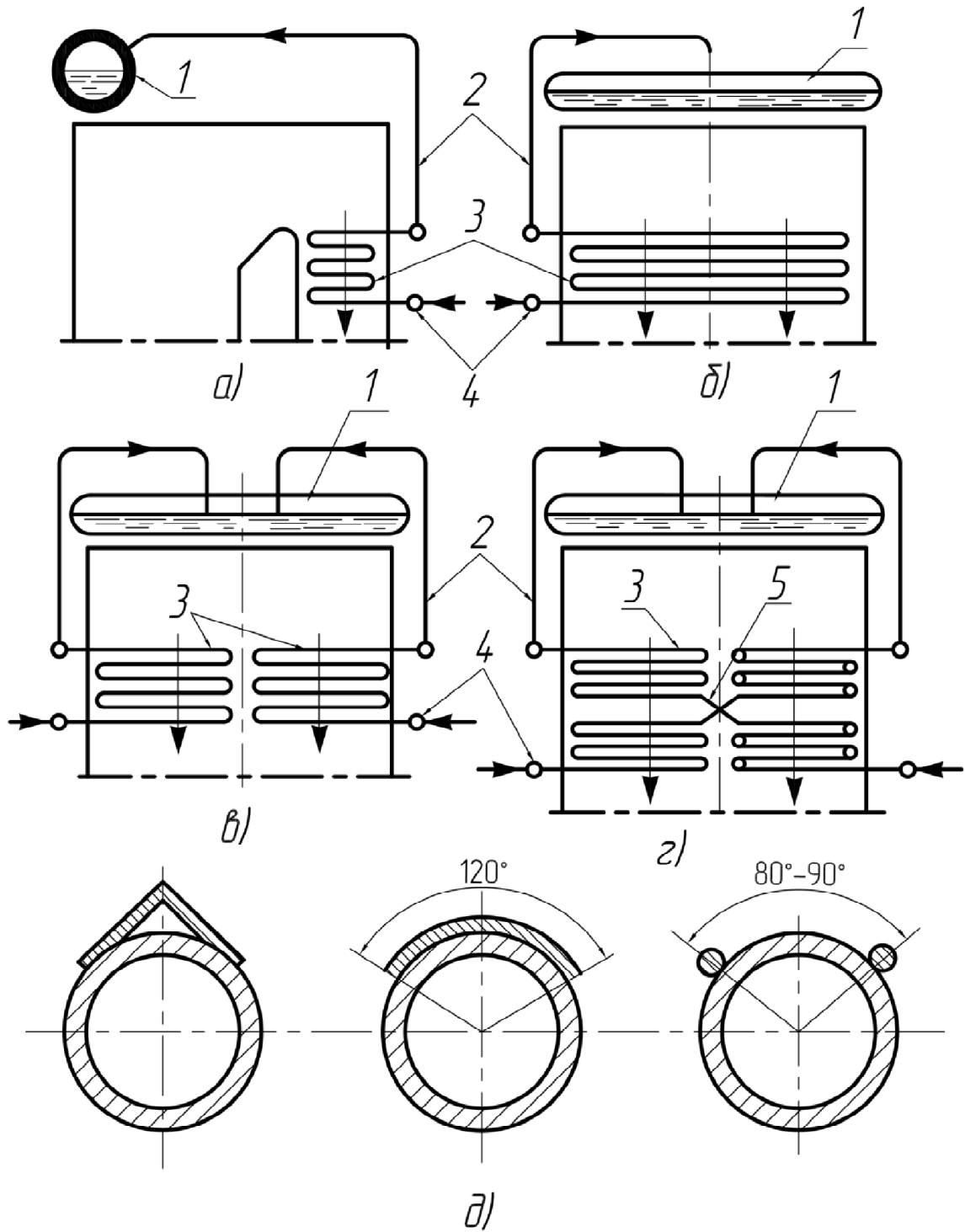
Газове регулювання (див. рис. 3.7) полягає в зниженні температури продуктів згоряння шляхом рециркуляції частини продуктів згоряння, що відбираються за економайзером. При цьому рециркуляційні гази можуть направлятися в пальники, нижню частину топки й у верхню частину топки до фестона. Рециркуляція організується за допомогою димососу.

3.1.4 Економайзери і повітропідігрівники

Економайзери служать для підігріву води і її часткового випару. Вони поділяються на киплячі і некиплячі.

Некиплячі застосовують для котлів низького тиску, киплячі – для котлів середнього і високого тиску. Економайзери являють собою змійовикові поверхні нагрівання, які поєднують у пакети (секції). При цьому для інтенсифікації теплопередачі використовують шахове розташування труб стосовно газового потоку.

Компонування економайзера представлено на **рисунок 3.9**.



а) перпендикулярне фронту розташування змійовиків; б) паралельне фронту розташування змійовиків; в) і г) двостороннє паралельне фронту розташування змійовиків; д) захист труб від зносу;
 1 – барабан; 2 – водоперепускні труби; 3 – економайзер; 4 – вхідні колектори; 5 – перекидні труби

Рисунок 3.9 – Компонівка економайзера

Існує три схеми розташування змійовиків економайзера стосовно фронту котла:

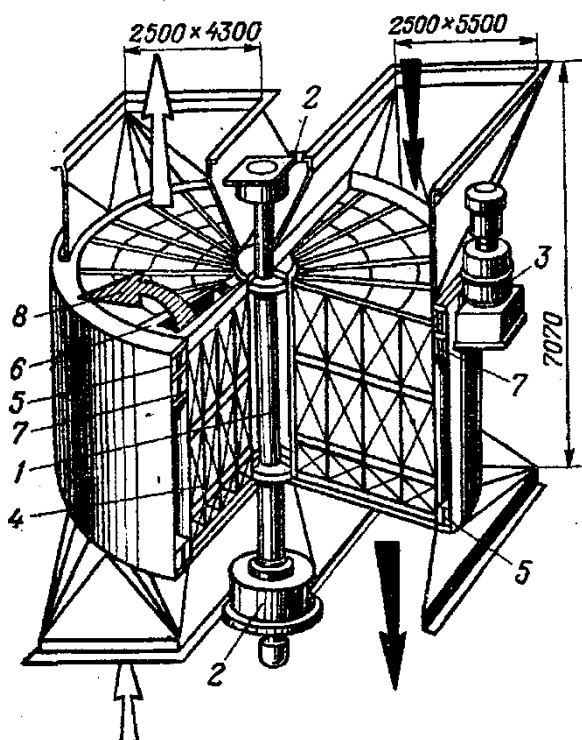
- перпендикулярне фронту розташування змійовиків (рис. 3.9, а);
- паралельне фронту розташування змійовиків (рис. 3.9, б);
- двостороннепаралельне фронту розташування змійовиків (рис. 3.9, в і г).

Повітропідігрівники є замикаючими поверхнями котла. Застосовують два типи повітропідігрівників:

- рекуперативні;
- регенеративні.

В рекуперативних теплопередача від газів до повітря відбувається безупинно через стінки труб, при цьому продукти згорання проходять усередині труб повітропідігрівника, а повітря, що нагрівається, омиває труби в поперечному потоці.

В регенеративному повітропідігрівнику теплопередача відбувається періодично. Вони представляють собою барабан, що обертається, із набивкою з тонких сталевих гофрованих і плоских листів, які створюють канали малого еквівалентного діаметру ($d_{\text{екв}} = 4-5$ мм) для проходу повітря і продуктів згорання. Набивкою, яка служить поверхнею теплообміну, заповнюється порожнистий ротор, розділений суцільними перегородками на ізольовані один від одного сектори (рис. 3.12).



Ротор повільно з частотою обертання 2-6 об/хв обертається в нерухомому корпусі. Корпус розділений на дві частини секторними плитами. У одну з них через горловину поступають продукти згорання, в іншу - повітря. Рух потоків газу і повітря роздільний і безперервний. При безперервному обертанні ротора його металева набивка поперемінно проходить через ці потоки. Спочатку тепло газів акумулюється, а потім віддається повітрю. Цей процес повторюється, і у результаті організовується безперервний нагрів повітря. Взаємний рух потоків продуктів згорання і повітря

1- вал ротора, 2 - підшипники, 3 - електродвигун, 4 - набивка, 5 - зовнішній кожух, 6 і 7 — радіальне та периферійне ущільнення, 8 — втрати повітря через ущільнення

Рисунок 3.12 — Регенеративний повітропідігрівач

протитоковий.

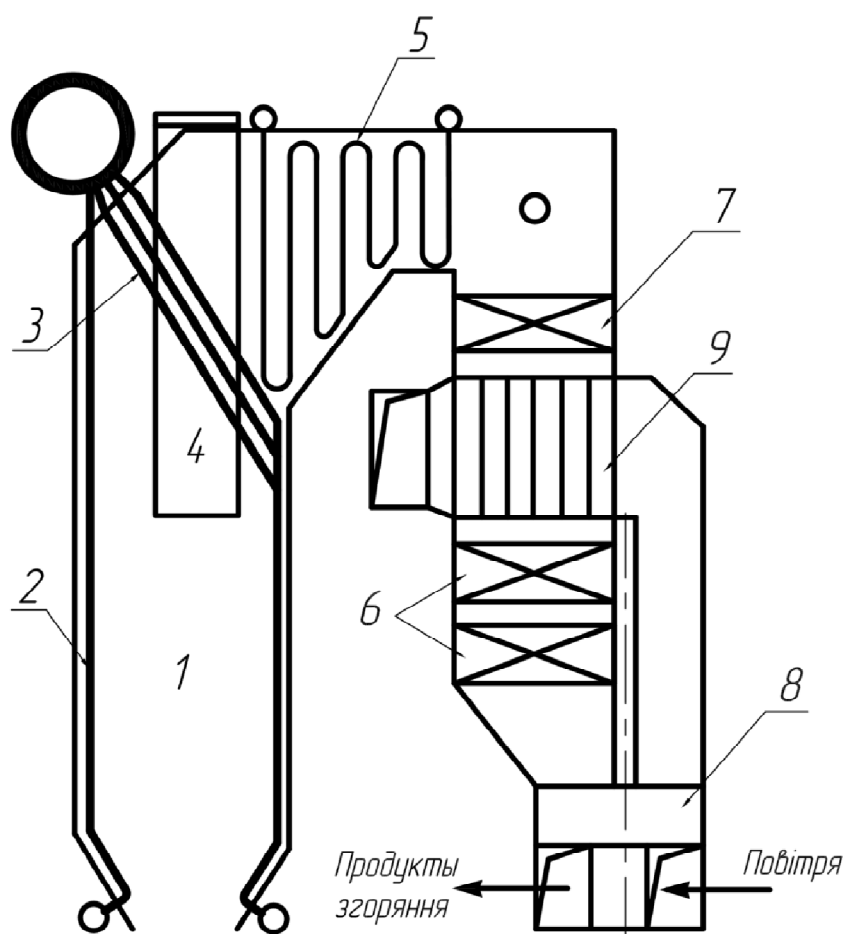
Недоліками регенеративних повітропідігрівників є підвищене перетікання повітря в газове середовище (до 10 %), що збільшує втрату з відхідними газами, а також наявність елементів, що

обертаються, і системи водяного охолодження валу ротора і підшипників.

Регенеративні повітропідігрівники більш компактні, однак не дозволяють нагрівати повітря до високих температур. Тому звичайно застосовують комбіновані регенеративні і рекуперативні повітропідігрівники. Схема комбінованого рекуперативного і регенеративного повітропідігрівника представлена на *рисунку 3.10*.

Традиційним компонованням повітропідігрівника і водяного економайзера є односхідцеве компоновання (*рисунку 3.11*).

При односхідцевому компонованні підігрів повітря обмежений, не більш 250...300°C. При спалюванні твердого палива, особливо з малим виходом летучих, потрібний підігрів до більш високої температури (до 400 °C). У цьому випадку застосовують двосхідцеве компоновання.



1 – топка; 2 – екрани топочної камери; 3 – фестон; 4 – ширмовий пароперегрівач; 5 – конвективний пароперегрівач; 6 – водяний економайзер I схи́дця; 7 – теж II схи́дця; 8 – регенеративний повітронагрівач I схи́дця; 9 – рекуперативний трубчастий повітронагрівач II схи́дця

Рисунок 3.10 – Схема установки комбінованого рекуперативного і регенеративного повітронагрівача

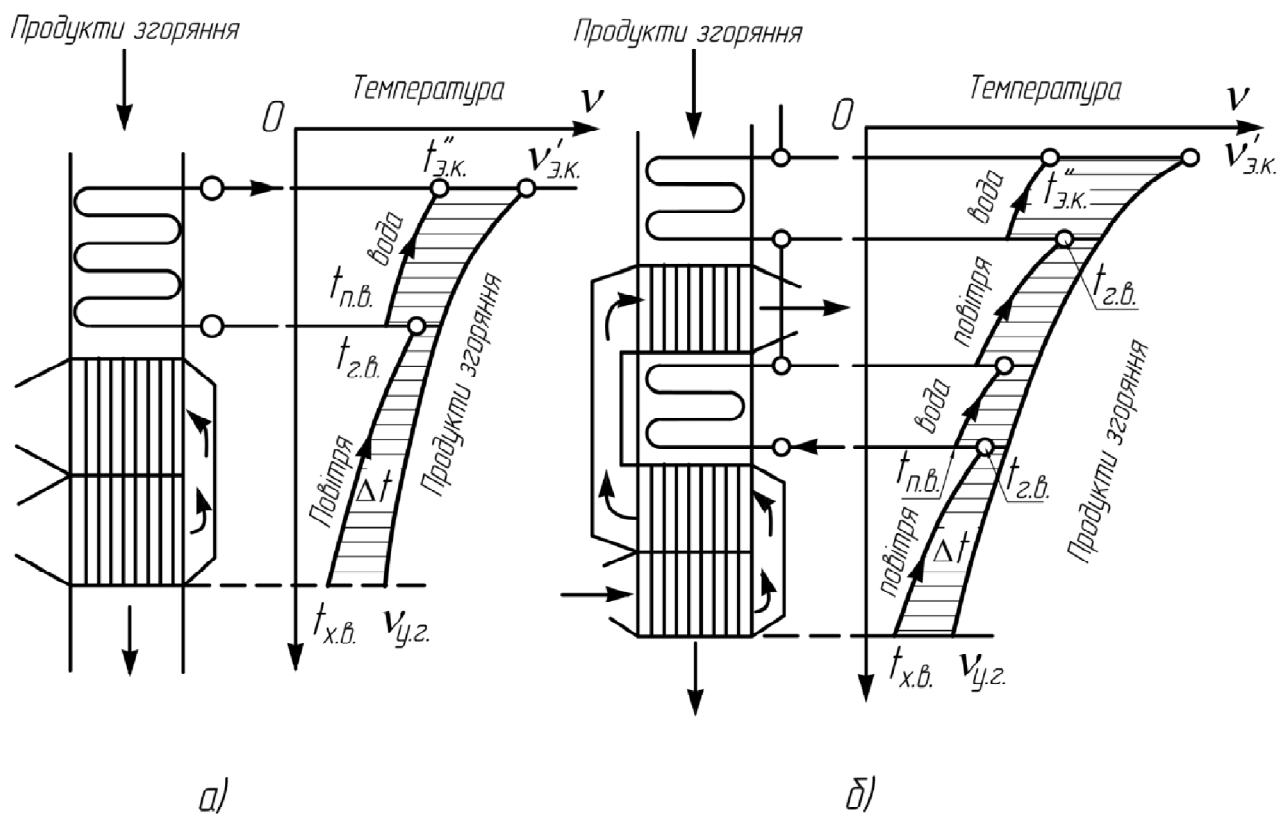


Рисунок 3.11 – Компонівка водяного економайзера та повітрянагрівача

Контрольні питання до розділу 3

1. Що містять у собі випарні поверхні котла?
2. Призначення пароперегрівника.
3. Поясніть компоновку пароперегрівника.
4. Як здійснюється регулювання температури пари?
5. Призначення і принцип дії економайзера.
6. Які типи повітряпідігрівників застосовують у котлових установках?

РОЗДІЛ 4

ТЕПЛООБМІНІ ГІДРОДИНАМІКА В ЕЛЕМЕНТАХ КОТЛА

Тема 4.1 Теплообмін в елементах котла

4.1.1 Теплообмін у топці

До 90 % теплоти екранам у топці передається випромінюванням. У топці випромінюють: факел, поверхня розпечених часточок палива і золи, трьохатомні гази. Складність розрахунку теплообміну в топці полягає в нерівномірності температурного поля по висоті і перетину топки. Температура продуктів згоряння на виході з топки на (700...800) °С нижче максимальної температури в факелі, а температура в центрі топки на (200...300) °С вище температури продуктів згоряння екранів. Тому розрахунок теплообміну ведуть наближеним методом, при цьому основною задачею є визначення температури продуктів згоряння на виході з топки по заданих конструктивних параметрах.

4.1.2 Теплообмін у конвективних поверхнях

Усі ті елементи, що розміщені за фестоном, *називають конвективними*. Наприклад, частка конвекції в сумарному теплотереносі в пароперегрівнику складає до 70 %, а в повітропідігрівнику – до 95 %.

Для розрахунку теплопередачі в конвективних поверхнях основним рівнянням є рівняння теплопередачі:

$$Q = K \cdot \Delta t \cdot F, \quad \text{кВт}$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м²·°С);

Δt – температурний напір, усереднена різниця температур по поверхні нагрівання між гріючим середовищем та середовищем яке нагрівається, °С;

F – поверхня нагрівання, м².

У результаті теплопередачі від гріючих газів до середовищ, що нагріваються, температура газів знижується.

Ця температура може бути знайдена з рівняння теплового балансу, що має вигляд:

$$Q = \varphi \cdot (I' - I'' + \Delta \alpha \cdot I_{np}^0),$$

де φ - коефіцієнт збереження теплоти топкою (φ завжди менше 1), показує частку теплоти, що втрачається через огороження котла;

- I' - ентальпія продуктів згорання на вході в елемент;
 I'' - ентальпія продуктів згорання на виході з елемента;
 $\Delta\alpha$ - присос повітря на ділянці газоходу з даним елементом;
 I_{np}^0 - ентальпія холодного (навколишнього) повітря;
 $\Delta\alpha \cdot I_{np}^0$ - теплота, внесена в газохід із присосами повітря.

4.1.3 Розрахунок теплопередачі в конвективних поверхнях нагрівання

При розрахунку котлів коефіцієнт теплопередачі приймається як для плоскої стінки.

Рівняння коефіцієнта теплопередачі для плоскої стінки має такий вигляд:

$$K = \frac{I}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі від грюючих газів до поверхні труб, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні труб до середовища, яке нагрівається, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$\delta_3, \delta_m, \delta_n$ - товщини шарів забруднень на зовнішній поверхні труб, металу і накипу на внутрішній поверхні труб, м;

$\lambda_3, \lambda_m, \lambda_n$ - коефіцієнт теплопровідності золи, металу і накипу, відповідно, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

$\delta_3/\lambda_3 = \varepsilon$ - коефіцієнт забруднення.

При експлуатації котлів утворення накипу усередині труб неприпустимо, тому опором δ_n/λ_n можна знехтувати.

α_1 або коефіцієнт зовнішнього теплообміну розраховується як сума:

$$\alpha_1 = \zeta \cdot (\alpha_k + \alpha_n),$$

де α_k - коефіцієнт конвективної тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

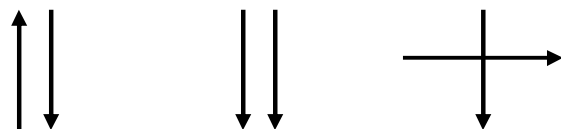
α_n - коефіцієнт променистої тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

ζ - коефіцієнт використання поверхні нагріву ($\zeta \leq 1$).

α_2 звичайно визначають по номограмах.

4.1.4 Температурний напір

Температурний напір залежить від схеми руху грюючого середовища та середовища що нагрівається. Основними схемами є:



а)б) в)

а) протитокова схема;

б) прямотокова схема;

в) змішана схема.

Найбільше значення температурного напору досягається в протитоці, що дозволяє зменшити поверхню нагріву елемента. Тому в розрахунках приймають:

$$\Delta t = \psi \cdot \Delta t_{\text{прот.}}$$

де Δt – температурний напір в елементі, °С;

$\Delta t_{\text{прот.}}$ – максимальний температурний напір при протитоці, °С;

ψ - коефіцієнт переходу до складної схеми ($\psi < 1$).

При протитоці або прямотоці температурний напір визначається по формулі:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\bar{\delta}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\bar{\delta}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \text{ °С}$$

де $\Delta t_{\bar{\delta}}$ - різниця температур гріючого середовища та середовища, що нагрівається на тій кінці теплообмінника, де вона більше, °С;

$\Delta t_{\text{м}}$ - різниця температур гріючого середовища та середовища, що нагрівається на тій кінці теплообмінника, де вона менше, °С.

Значення коефіцієнта тепловіддачі від гріючих газів до стінок труб (α_1) залежить від розташування труб у пучках. У пароперегрівниках звичайно застосовують коридорне розташування труб. Фестон і економайзер мають шахове розташування труб.

Тема 4.2. Гідродинаміка в елементах котла [1, 2] (тема для самостійного опрацювання)

4.2.1 Умови надійної роботи елементів котла

Для надійної роботи котла необхідне безперервне відведення тепла від поверхонь нагрівання й підтримка температури металу в припустимих межах при всіх можливих режимах роботи котла.

Масова швидкість робочого тіла в елементах котла залежить від його навантаження й для випарних поверхонь нагрівання - від організації руху пароводяної суміші. В економайзерах і пароперегрівниках вода й пара рухаються примусово, однократно й швидкість визначається тільки навантаженням [1, 2]. При природній циркуляції у випарних поверхнях нагрівання й низькому тиску швидкість пароводяної суміші зі збільшенням навантаження різко збільшується, а потім після досягнення максимального значення майже стабілізується внаслідок збільшення гідравлічного опору при зростаючому паровмісті.

У прямоточних котлах швидкість пропорційна навантаженню. При малому навантаженні швидкість може виявитися неприпустимо низкою, і зниження її доводиться обмежувати приблизно 30 % номінальної. У котлах з багаторазовою примусовою циркуляцією у випарних поверхнях нагрівання швидкість майже не залежить від навантаження.

4.2.2 Режим, структура й характеристика потоку робочого тіла

Гріючим середовищем в елементах котла є вода, пароводяна суміш, пара й повітря, яке використовується для горіння палива.

Структура потоку пароводяної суміші. Залежно від паровмісту, швидкості й тиски структура потоку, що рухається, пароводяної суміші може мати наступний характер [1, рис. 10-5].

Бульбашкова структура, при якій дрібні бульбашки пари відносно рівномірно розподілені по перетину труби. Така структура виникає при невеликому паровмісті й малій швидкості пароводяної суміші у вертикальній трубі.

Снарядна структура, при якій утворюються великі парові бульбашки, що займають середню частину перетину труби й відділені друг від друга й стінки тонким шаром води. Снарядна структура нестійка й виникає при збільшенні паровмісту й низькому тиску. При тисках більше 10 МПа снарядна структура не спостерігається.

Стрижнева структура, при якій у середньому перетині труби рухається суцільний потік пари зі зваженими в ньому краплями води. По стінці при цьому рухається шар рідини, товщина якого зменшується з ростом паровмісту й швидкості потоку.

Емульсійна структура, при якій основна маса води зривається зі стінки й несеться у вигляді крапель у потоці пари. На стінці залишається тонка водяна

плівка. Така структура виникає при паровмісті більше 90 %, великої швидкості пари й високому тиску.

Із зазначених режимів плинину пароводяної суміші найкращі умови охолодження стінки забезпечує бульбашкова структура потоку, при якій можлива стабільна робота поверхні нагрівання при високих теплових навантаженнях.

Залежно від організації руху потоку води й пароводяної суміші у випарній системі котли розділяються на дві групи:

а) котли із природною циркуляцією;

б) котли із примусовою циркуляцією, які підрозділяються на прямоточні й з багаторазовою примусовою циркуляцією.

Відповідно, необхідно ознайомитися з гідродинамікою в прямоточних котлах [1, п. 10-5] й у котлах з багаторазовою примусовою циркуляцією [1, п. 10-6].

4.2.3 Гідродинаміка водогрійних агрегатів

Водогрійні агрегати звичайно виконуються із прямоточним рухом води. Конструктивно поверхні нагрівання виконують із труб малого діаметра у вигляді вертикальних екранних панелей, розташованих на стінках топкової камери, і горизонтальних пакетів зміювиків, розміщених за топкою.

Гідравлічний опір у системі поверхонь нагрівання переборюється за рахунок напору, створюваного мережними насосами, що подає воду з тепломережі після її охолодження [2]. У результаті теплової й гідравлічної нерівномірності при підігріві води до температури, близької до температури насичення пари, при даному тиску й при малих швидкостях руху потоку води в окремих трубах екранних панелей і горизонтальних зміювиків пакетів можуть виникнути пароутворення й нестійкий гідравлічний режим і як наслідок цього неприпустиме підвищення температури металу найбільше теплонавантажених труб і виникнення гідравлічних ударів.

Для виявлення розподілу потоків води в паралельно включених трубах екранних панелей і зміювиків пакетів для кожного циркуляційного контуру будується його гідродинамічна характеристика.

Гідродинамічні характеристики екранної панелі з підйомно-опускним рухом води при різних теплових навантаженнях в області малих значень масових витрат води мають мінімум витрат напору, що характеризує область нестійкої гідродинаміки в трубах.

Для більш повного вивчення даного питання необхідно розглянути й гідродинаміку в елементах котла, а саме, гідродинаміку водяного економайзера й гідродинаміку пароперегрівника [1, п. 10-8, п. 10-9].

Контрольні питання до розділу 4

1. Як здійснюється теплообмін у топці?
2. Що мають на увазі під конвективними поверхнями нагріву котельних установок?

3. Як зробити розрахунок теплопередачі в конвективних поверхнях?
4. Поясніть поняття температурний напір?
5. За допомогою якого рівняння можна визначити значення температурного напору?
6. Перелічіть умови надійної роботи елементів котла.
7. Яка структура потоку пароводяної суміші?
8. Як здійснюється гідродинаміка котлів із природною циркуляцією?
9. Приведіть схему розрахунку циркуляції.
10. Що мається на увазі під термінами «застій» й «перекидання» циркуляції?
11. Як здійснюється гідродинаміка прямоточних котлів?
12. Як здійснюється гідродинаміка котлів з багаторазовою примусовою циркуляцією?
13. Гідродинаміка водогрійних агрегатів.
14. Гідродинаміка водяного економайзера й пароперегрівника.

РОЗДІЛ 5

ВОДОПІДГОТОВКА

Тема 5.1 Якість природних вод. Визначення показників якості води. Прояснення і коагуляція води.

5.1.1 Значення водопідготовки

- 1) Забезпечити безнакипний режим роботи котла. Відкладення на внутрішній поверхні труб котла мають низький коефіцієнт теплопровідності, що призводить до перегріву труб.
- 2) Вода може містити агресивні гази CO_2 і O_2 . Вони приводять до кисневої корозії.
- 3) Деякі з'єднання з котлової води можуть переходити в пару (наприклад, кремінна кислота).

5.1.2 Якість природних вод

Усі речовини, що утримуються у воді можна розділити на зважені, колоїдні, молекулярно-дисперсні або іонно-дисперсні.

Зважені частки – це частки піску, глини, залишків рослинності і т.ін. Кількість зважених часток у воді визначають ваговим методом.

Колоїдні речовини – це частки як органічного, так і неорганічного походження з розмірами часток $10^{-9} \dots 10^{-7}$ м. Колоїди органічного походження – це речовини, що додають жовтувате фарбування воді.

Молекулярно-дисперсні речовини – це гази O_2 , CO_2 і солі MgSO_4 , Na_2SO_4 , CaSO_4 , NaCl , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ і іони солей (Mg^{2+} , Na^+ , ...).

5.1.3 Показники якості води

1) Жорсткість. Являє собою сумарну кількість катіонів Mg^{2+} , Ca^{2+} . **Загальну жорсткість позначають:** $\text{Ж}_0 = \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$. Вимірюється в мг-екв/л (цечастка від ділення концентрації речовини у воді на еквівалентну вагу).

Еквівалентна вага являє собою:

$$E_k = M/n,$$

де n – валентність речовини в даній реакції, M – молекулярна маса.

Жорсткість підрозділяється на:

- карбонатну;
- некарбонатну.

Карбонатна жорсткість обумовлена присутністю у воді карбонатів кальцію і магнію ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). Цю жорсткість називають тимчасовою, тому

що при нагріванні води ці з'єднання переходять відповідно в CaCO_3 і MgCO_3 , які випадають в осад.

Некарбонатна жорсткість обумовлена присутністю таких з'єднань: сульфатів (MgSO_4 , CaSO_4) і хлоридів (MgCl_2 , CaCl_2).

2) Лужність. Лужність води – це наявність у ній речовин, що при дисоціації дають підвищений вміст гідроксиду (OH^-). **Позначається L_0 .** Лужність також являє собою суму:

$$L_0 = L_r + L_b + L_k,$$

де L_r – гідратна лужність (OH^-); L_b – бікарбонатна лужність (обумовлена наявністю HCO_3^-); L_k – карбонатна (наявність CO_3^{2-}).

Для води характерна бікарбонатна лужність. Загальна лужність вимірюється в мг-екв/л води. Тому, якщо $J_0 > L_0$, то вода буде нелужною, а якщо $J_0 < L_0$, то вода буде лужною.

3) Сухий залишок являє собою сумарний вміст нелетучих колоїдних і молекулярно-дисперсних речовин. Визначається шляхом випарювання проби з наступним висушуванням при температурі (110...120)°С. Вимірюється в мг/л води.

4) Окисність – характеризується змістом речовини органічного походження. Характеризується кількістю O_2 необхідного для повного окислювання органічних речовин, що утримуються у воді. Вимірюється в мг/л.

5) Прозорість. Вимірюється висотою стовпа води, через який можна розрізнити друкований текст або хрестоподібні смужки (прозорість по хресту). Прозорість відносно визначає наявність зважених часток у воді.

5.1.4 Прояснення води

Проясненням води називається процес видалення з неї зважених і колоїдних речовин.

Осадження і фільтрування – методи видалення зважених часток з води.

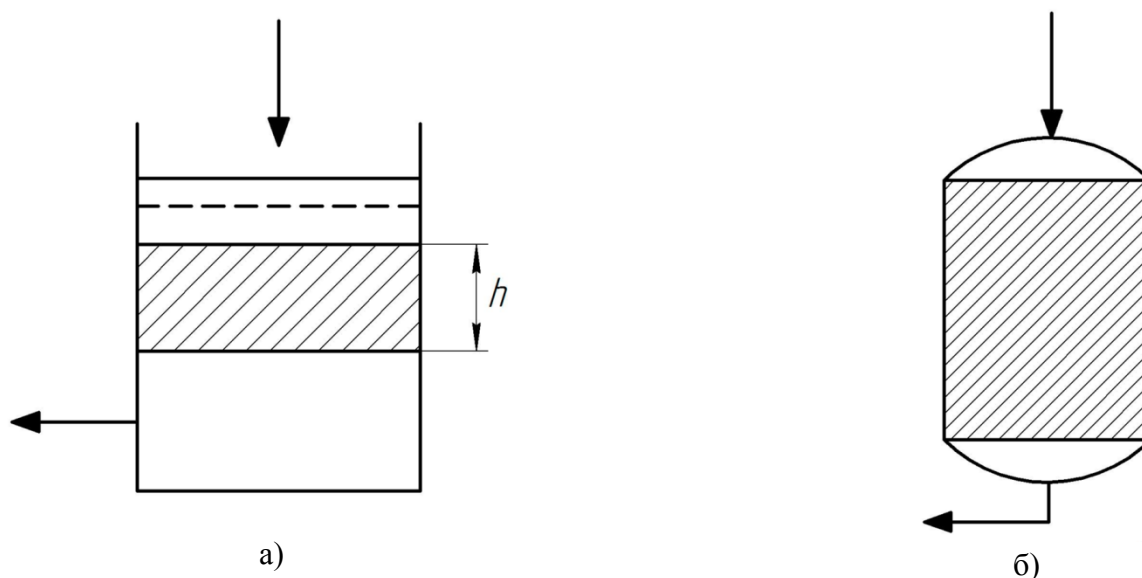
Осадження здійснюється у великих емкостях при повільному висхідному або горизонтальному русі води. При цьому на дно емкості опускаються тільки великі частки, вага яких більше ваги води.

Фільтруванням називається процес пропуску води через пористу речовину, на поверхні й у порах якої затримуються зважені частки.

Фільтри називаються освітлювачами або механічними фільтрами. Вони бувають двох видів: закриті і відкриті (*рисунк 5.1*).

При водопідготовці застосовують дроблений антрацит з розмірами (1...2) мм, або кварцовий пісок з розмірами часток (0,5...1) мм.

У відкритих фільтрах (*рис. 5.1, а*) процес фільтрації відбувається під напором шару води, який розташовується над фільтруючим матеріалом. Це є їхнім недоліком. Такі фільтри застосовуються для питного водопостачання. Теплоенергетики застосовують фільтри закритого типу (*рис. 5.1, б*).



а) відкриті; б) закриті

Рисунок 5.1 – Типи фільтрів

5.1.5 Коагуляція води

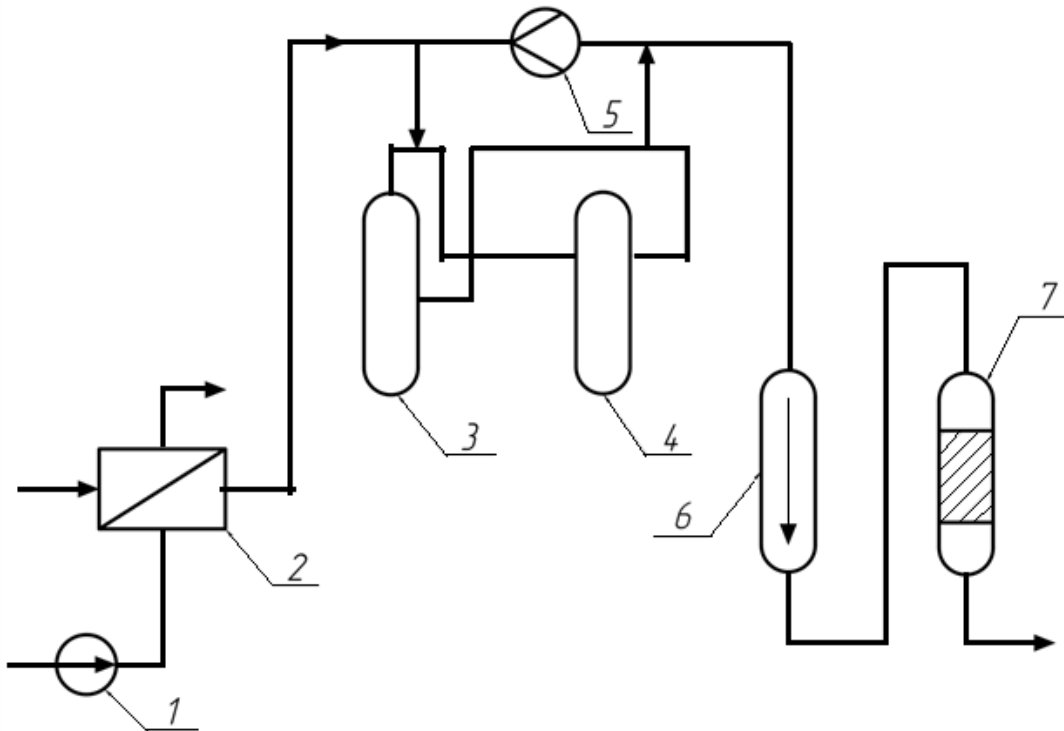
Коагуляція – це процес укрупнення, злиття колоїдних часток з метою їхнього подальшого осадження або уловлювання фільтром.

Для протікання коагуляції у воду вводять спеціальні реагенти, що **називаються коагулянтами**. У якості коагулянтів застосовують:

- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – сірчанокисле залізо;
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ – сірчанокислий алюміній.

При цьому може знижуватися лужність води. Тому на практиці у воду додають луг. Схема коагуляційної установки представлена на **рисунку 5.2**.

Принцип дії установки. Вода під тиском подається в теплообмінник, де підігрівається паром або гарячою водою. У залежності від витрати води, яка вимірюється діафрагмою 5, у воду додається луг і коагулянт. Для кращого змішування з водою служить змішувач 6. В освітлювачі 7 хлоп'я, які утворилися, видаляються з води.



1- насос; 2 – теплообмінник; 3 – дозатор; 4 – дозатор коагулянту; 5 – вимірювальна діафрагма; 6 – змішувач; 7 - освітлювач

Рисунок 5.2 – Схема коагуляційної установки

Контрольні питання до теми 5.1

1. Поясніть, з якою метою застосовується водопідготовка?
2. Які вимоги пред'являються до якості природних вод?
3. Назвіть показники якості води і дайте стислу характеристику кожному з них.
4. Поясніть сутність процесу освітлення і коагуляції.

Тема 5.2 Процеси катіонування. Схеми водопідготовчих установок

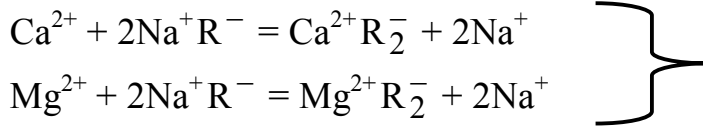
5.2.1 Обробка води методом катіонного обміну

Катіонування – це процес обміну катіонів між речовинами, розчиненими у воді й твердою речовиною, яка занурена у цю воду, що **називається катіонітом**.

Катіон, що віддає катіоніт, **називається обмінним**. Для котельних установок має місце тільки Na^+ .

Na-катіонування.

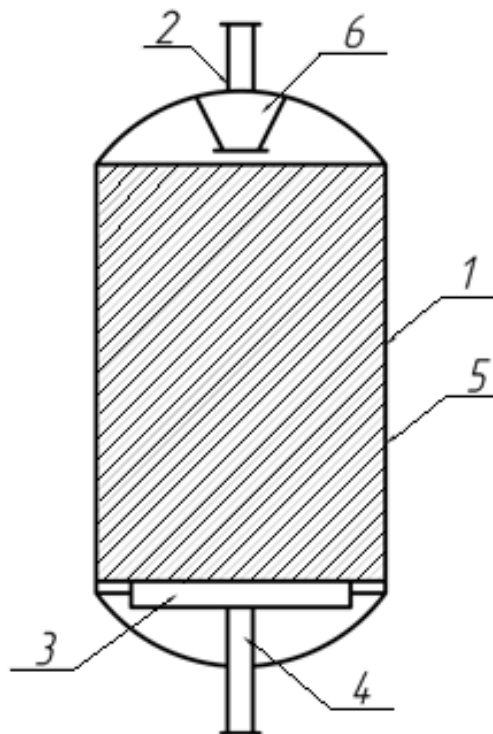
Цей процес заснований на обміні катіонів жорсткості води Ca^{2+} , Mg^{2+} на катіон Na^+ . При цьому відбуваються хімічні реакції:



Таким чином, сутність процесу Na-катіонування полягає в поглинанні катіонітом катіонів жорсткості (Ca^{2+} , Mg^{2+}) замість на катіоніти Na^+ , які переходять у водні розчини.

У водопідготовці застосовують сульфовугілля СМ-1, КУ-2-8, С-100 (найкраще). Сульфовугілля одержують шляхом обробки кам'яного коксівного вугілля із сірчаною кислотою. Сульфовугілля не можна застосовувати при температурах вище 70°C , тому що воно піддається пептизації (розпаду молекул). Крім того, воно володіє низькою механічною міцністю, має малу обмінну робочу ємність e_p , де e_p – це максимальна кількість катіонів, виражена в г-екв/м³ або мг-екв/л, яка може видалити з водного розчину 1 м³ катіоніта.

Найкращим на сьогоднішній день є катіоніт С-100 фірми Пьюролайт. Na-катіонування проводять у вертикальних фільтрах (*рисунок 5.3*).

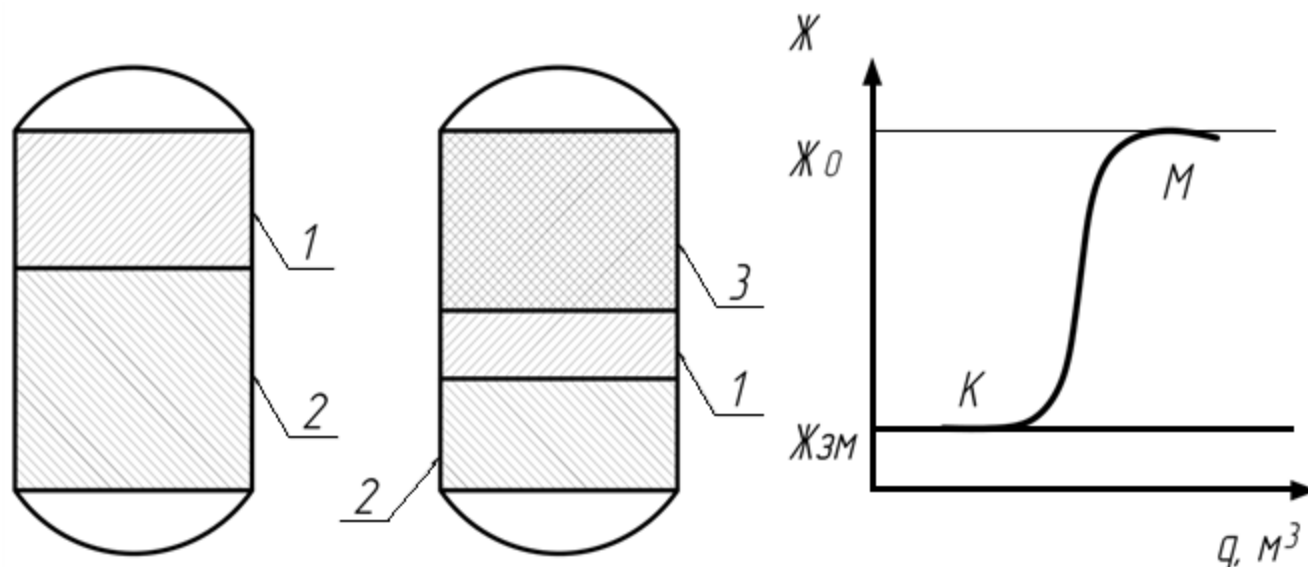


1 – корпус; 2 – підведення вихідної води; 3 – дренажно-розподільчий пристрій (ДРП); 4 – відведення пом'якшеної води; 5 – шар катіоніту; 6 – верхній розподільний пристрій

Рисунок 5.3 – Вертикальні фільтри

Робота катіонітних фільтрів

При контакті вихідної води з катіонітом починається процес обміну катіонітами, який завершується на деякій глибині шару катіоніту, утворюючи зону обміну 1 (**рисунок 5.4**), 2 – це свіжий катіоніт. Однак по мірі експлуатації фільтра відбувається поступове виснаження верхніх шарів і вони стають неробочими, утворюючи зону 3 – виснаженого катіоніту (**рисунок 5.4, б**). Тут процес обміну також відбувається в зоні 1, що вже розташована на деякій відстані від верхньої поверхні катіоніту. І так буде відбуватися доти, поки нижня межа зони 1 не сполучиться з нижньою межею зони 2. На графіку цьому моменту відповідає точка К, тобто фільтр повинен працювати доти, поки він забезпечує необхідне пом'якшення води ($J = J_{зм.}$), тому що в точці К починається проскакування катіонів жорсткості.



1 – зона обміну; 2 – свіжий катіоніт; 3- неробоча зона

Рисунок 5.4 – Катіонітові фільтри

Починаючи з моменту, відповідному точці К на графіку, необхідно робити регенерацію фільтра.

Регенерація включає три операції:

- спущування;
- регенерацію;

– відмивання.

Спушування проводиться зворотнім струмом, тобто подачею води знизу нагору, з метою усунення місцевих ущільнень у шарі катіоніта, а також виносу забруднень, які попали у шар і зруйнованих часток катіоніту.

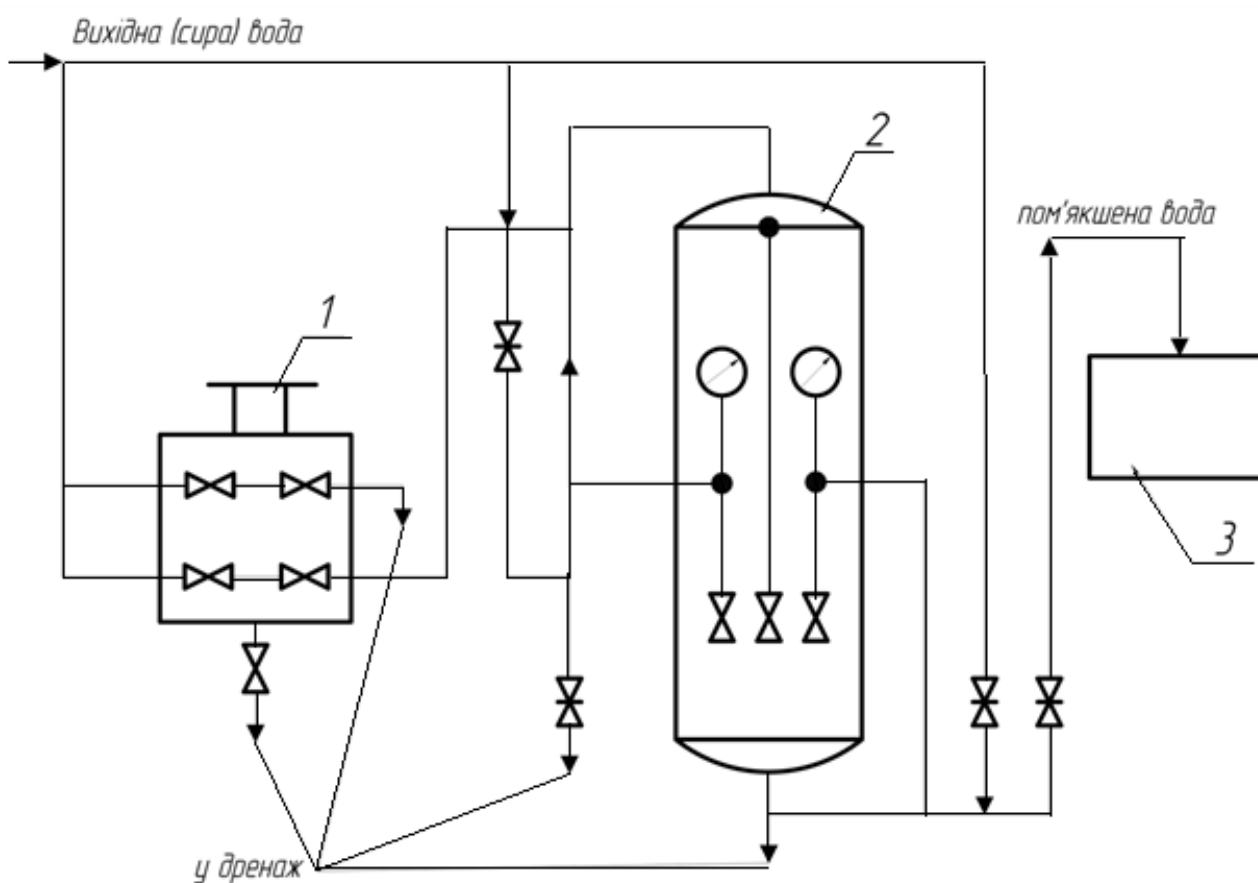
Регенерація проводиться (6...8) % розчином NaCl, який пропускається зверху вниз через шар катіоніту. При цьому катіоніт знову насичується обмінним катіоном натрію, віддаючи у водний розчин катіони жорсткості.

Відмивання фільтра – це завершальна операція регенерації, що проводиться з метою видалення з фільтра катіонів жорсткості залишків соляного розчину. Для цього використовується прояснена або пом'якшена вода.

5.2.2 Схеми водопідготовчих установок

Найпростішою є односхідцева Na-катіонітна установка (*рисунк 5.5*).

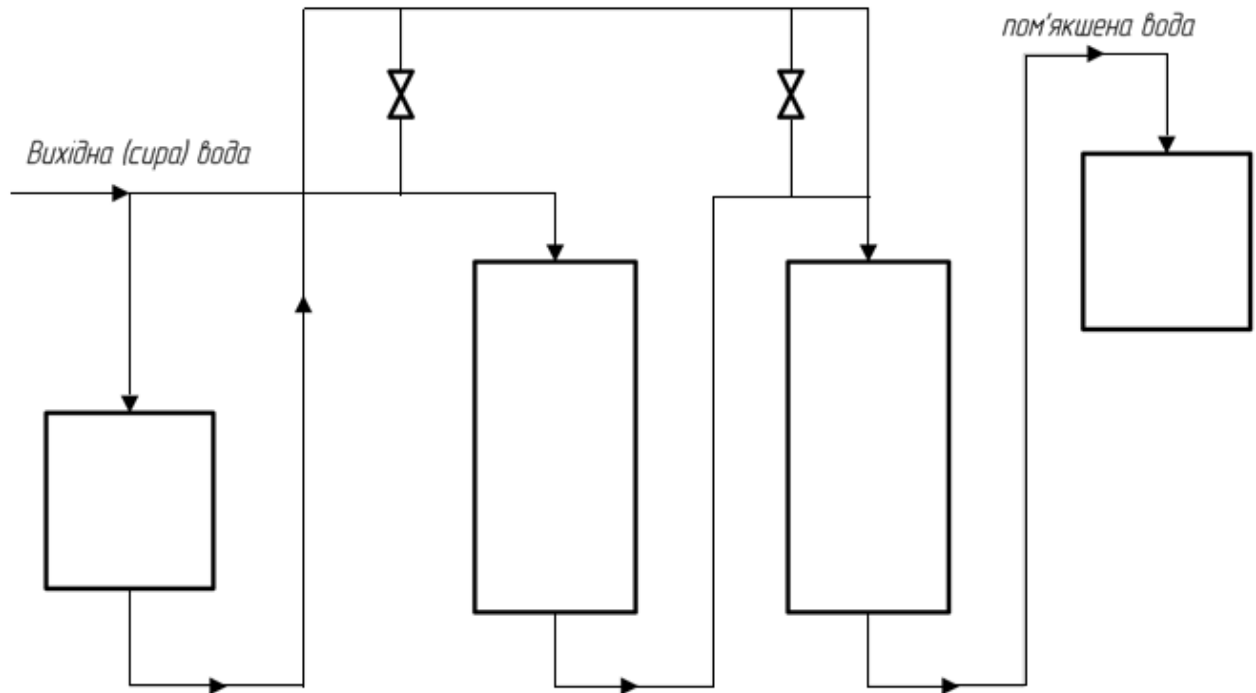
Недоліком цієї схеми є те, що вихідна вода не повинна містити зважених і колоїдних часток, а також мати невелику лужність.



1 – солерозчинник; 2 – Na-катіонітний фільтр; 3 – живильний бак

Рисунок 5.5 – Односхідцева Na-катіонітна установка

Більш глибоке пом'якшення води можна одержати у двосхідцевій Na-катіонітній установці (*рисунк 5.6*).

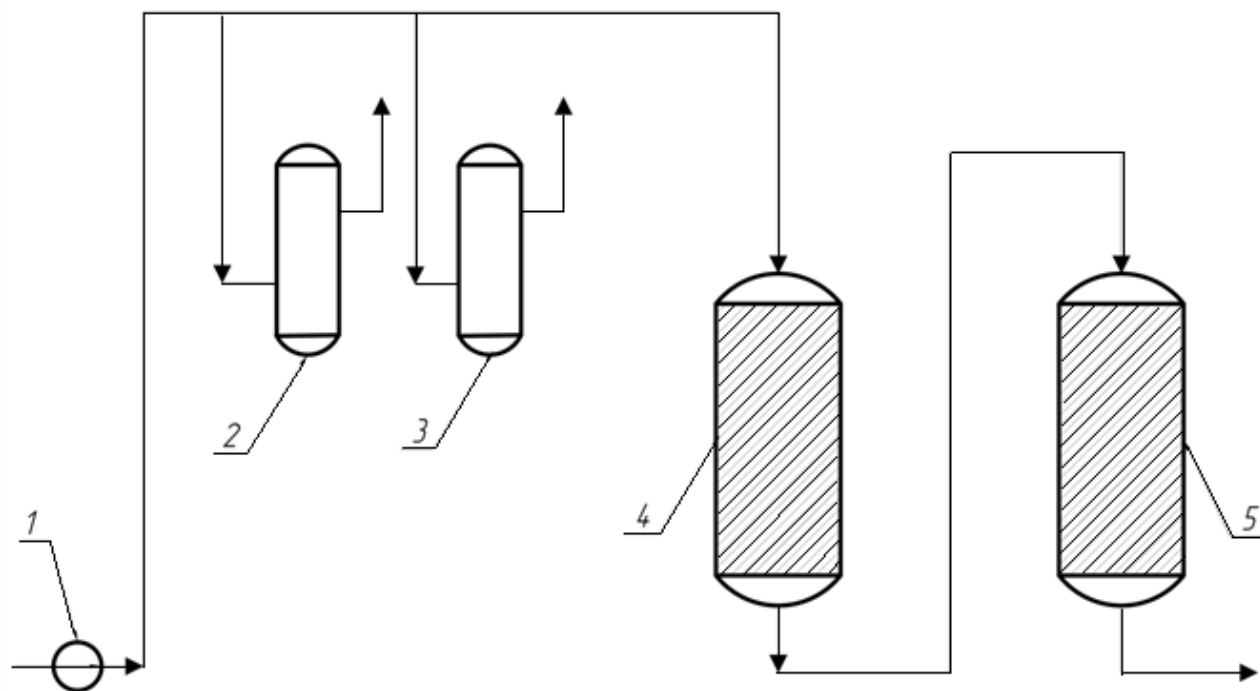


1 - солерозчинник; 2 – Na-катіонітний фільтр першого східця; 3 - Na-катіонітний фільтр другого східця; 4 – живильний бак

Рисунок 5.6 – Двосхідцева Na-катіонітна установка

Як видно з *рисунок 5.6* вихідна вода послідовно проходить Na-катіонітні фільтри першого і другого східця. Це дозволяє знизити жорсткість води до більш низьких значень, а також запобігти проскакуванню катіонів жорсткості при виснаженні фільтра першого східця. Тому фільтр другого східця **називається бар'єрним**.

Для води, що містить зважені колоїдні речовини, застосовують схему водопідготовчої установки: коагуляція – прояснення – Na-катіонування (*рисунок 5.7*).



1- насос; 2 – дозатор луѓу; 3 – дозатор коагулянту; 4 – фільтр, що освітлює; 5 – катіонітний фільтр

Рисунок 5.7 – Схема водопідготовчої установки: коагуляція – освітлення – На-катіонування

Контрольні питання до теми 5.2

1. Що таке катіонування?
2. Поясніть процес Na-катіонування.
3. Принцип дії катіонітних фільтрів?
4. Які схеми водопідготовчих установок ви знаєте?
5. Поясніть принцип дії одно- та двохсхідцевої Na-катіонітної установок.

Тема 5.3 Деаерація води

Деаерацією або дегазацією води називається процес видалення з води розчинених у ній газів CO_2 і O_2 .

Цей процес є обов'язковим при організації водного режиму котлів. Тому що CO_2 і O_2 , потрапляючи з живильною водою у випарну систему, призводять до корозії, яка одержала назву **кисневої**, її також називають **виразковою**.

5.3.1 Закон Генрі

На практиці одержали поширення процеси термічної деаерації, заснованої на законі Генрі.

Закон Генрі говорить: кількість газів, розчинених при даній температурі в одному кубометрі рідини, пропорційна тиску газу над поверхнею цієї рідини.

Вода, що надходить у котел, знаходиться в контакті з повітрям, до складу якого входять CO_2 , N_2 , O_2 і водяна пара.

Таким чином, повний тиск повітря над поверхнею води можна записати:

$$P_0 = P_{\Gamma} + P_{\text{в.п}},$$

де P_{Γ} - сумарний тиск CO_2 , N_2 , O_2 .

При кипінні $P_0 = P_{\text{в.п}}$, а $P_{\Gamma} = 0$.

Умова кипіння – це рівність тиску водяних парів і всього тиску.

У залежності від тиску, що підтримується в апараті, при термічній деаерації розрізняють:

- вакуумну деаерацію, коли $P_0 < 0,03$ МПа;
- атмосферну деаерацію, коли $P_0 = 0,12$ МПа;
- деаерацію при підвищеному тиску, коли $P_0 = (0,6 \dots 0,8)$ МПа.

Апарати, у яких відбувається деаерація, **називаються деаераторами**.

Вони підрозділяються відповідно на вакуумні, атмосферні і підвищеного тиску. При атмосферній деаерації температура деаерованої води складає 104 °С.

Для здійснення термічної деаерації необхідно:

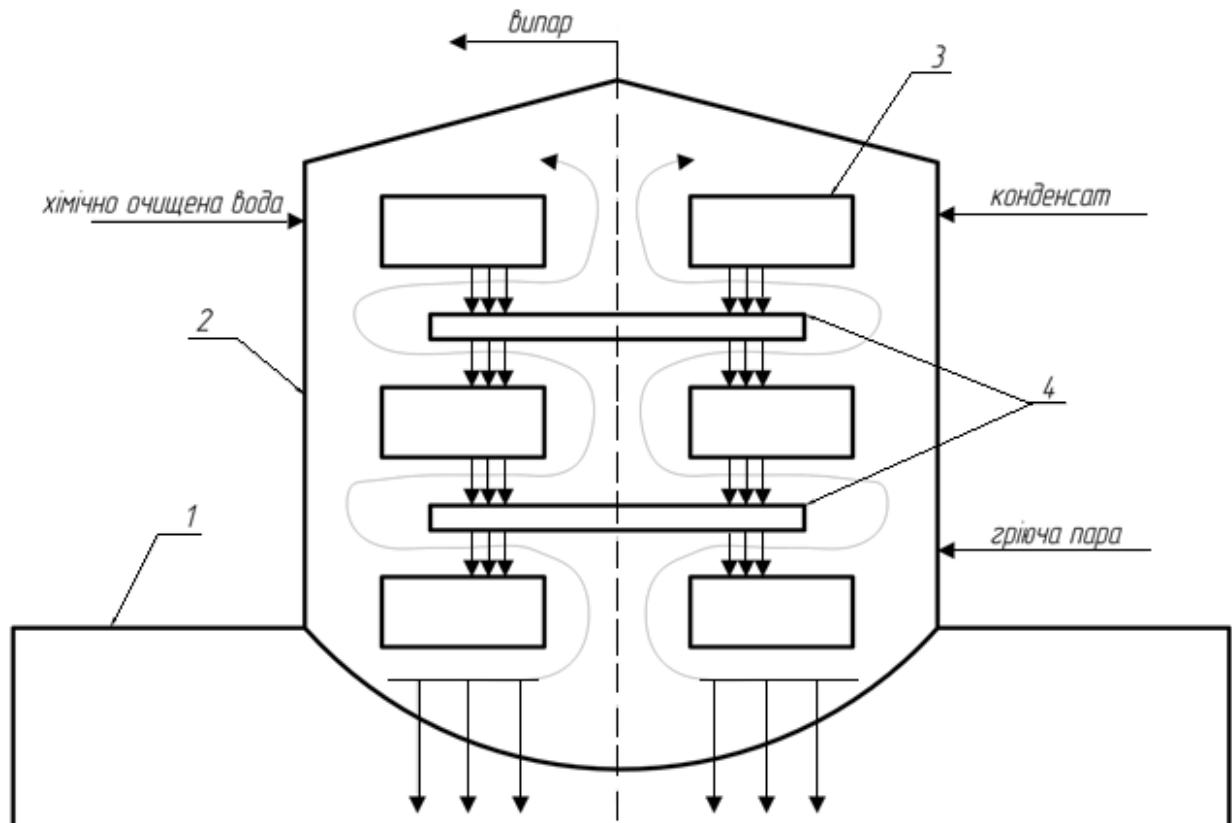
1. Забезпечити підігрів води до температури кипіння.
2. Забезпечити достатній час контакту води згріючою парою.
3. Забезпечити видалення з апарату газів O_2 і CO_2 , які виділяються разом з відпрацьованою парою.

Відповідно до стандарту залишковий вміст кисню в деаерованій воді не повинен перевищувати, при тиску пари $P_{\text{п}} \leq 4$ МПа, ≤ 30 мкг/кг, якщо $P_{\text{п}} = (4 \dots 10)$ МПа, то ≤ 20 мкг/кг.

5.3.2 Деаератори атмосферного типу

Схема деаератора атмосферного типу представлена на **рисунку 5.8**.

Деаератор включає два елементи: бак-акумулятор 1 і деаераторну колонку 2. У середині колонки розміщені тарілки з перфорацією. На верхні тарілки подається хімічноочищена вода і конденсат, що у виді тонких струменів переливаються з тарілки на тарілку. На зустріч цим струмкам подається гріюча пара.



1 – бак-акумулятор; 2 – деаераторна колонка; 3 – верхня розповсюджувальна тарілка; 4 – проміжні тарілки

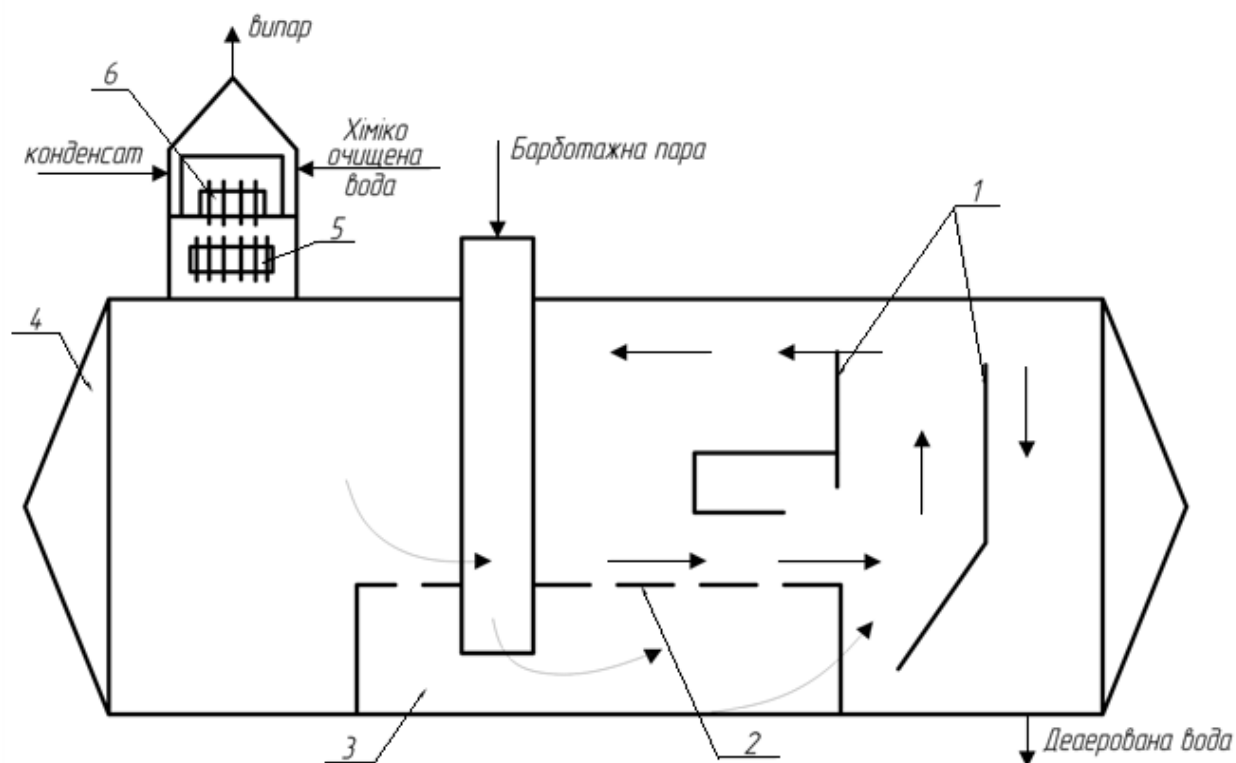
Рисунок 5.8 – Деаератор атмосферного типу

При контакті париз водою остання нагрівається до температур кипіння. Гази, що виділилися з води, разом з незконденсованою парою видаляються у верхній частині колонки і направляються в охолоджувач випару (гази + пара) для підігріву води, що надходить. Деаерована вода збирається в баці, з якого направляється до котлів. При $P_0 = 0,12 \text{ МПа}$ температура цієї води $t_v = 104,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

5.3.3 Двосхідцеві деаератори

Схема двосхідцевого деаератора представлена на **рисунку 5.9**.

Ці деаератори мають укорочену колонку, яка має тільки дві тарілки: нижню і верхню. Проте, тут досягається краща деаерація за рахунок додаткової деаерації безпосередньо в баці. З цією метою у водний об'єм бака подається пара, яка барботує через водний об'єм. За рахунок цього одержуємо зниження вмісту залишкових CO_2 і O_2 у воді й зменшення габаритів деаератора.



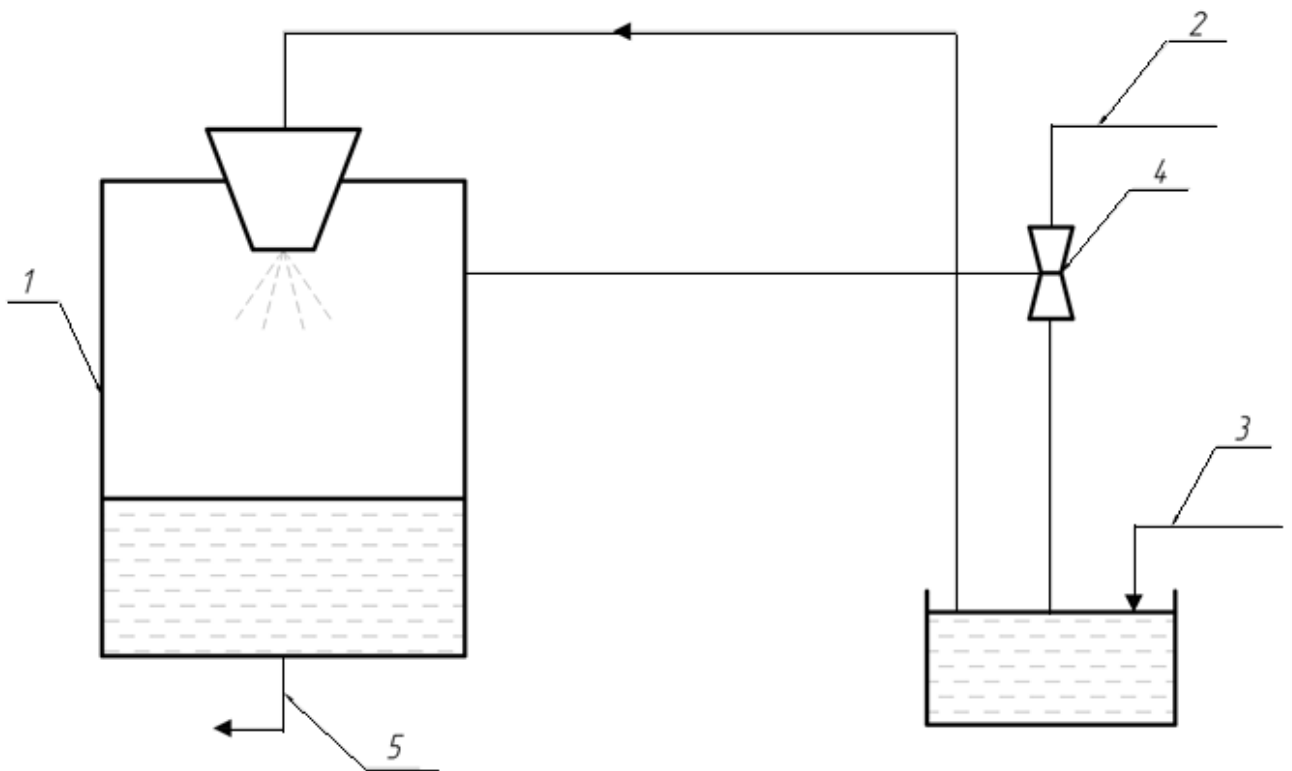
1 – затоплені перегородки; 2 – барботажний дірчастий лист; 3 – барботажний пристрій; 4 – бак-акумулятор; 5 – нижня дірчаста тарілка; 6 – верхня дірчаста тарілка

Рисунок 5.9 – Схема двосхідцевого деаератора

5.3.4 Вакуумні деаератори

Схема вакуумного деаератора приведена на **риунку 5.10**.

Вакуумна деаерація застосовується в тих випадках, коли температура деаерованої води нижче 100 °С. У цій схемі вакуум створюється за допомогою ежектора. Деаеруєма вода попередньо підігрівається і подається в корпус деаератора, де розпилюється на дрібні краплі, закипає, і гази, які виділилися, видаляються через ежектор.



1 – корпус деаератора; 2 – подача хімічноочищеної води; 3 – подача гріючої води; 4 – ежектор; 5 – відведення деаерованої води

Рисунок 5.10 – Схема вакуумної деаерації

Контрольні питання до теми 5.3

1. Що таке деаерація?
2. Приведіть визначення закону Генрі.
3. У чому полягає призначення деаераторів атмосферного типу?
4. Опишіть схему двохідцевого деаератора.
5. У якому випадку застосовується вакуумна деаерація?

РОЗДІЛ 6

ВОДНИЙ РЕЖИМ І ЯКІСТЬ ПАРИ

Тема 6.1 Водний режим котла

6.1.1 Продувка котлів. Рівняння сольового і матеріального балансів котла.

Продувка – це процес виведення з випарної системи частини котлової води і заміщення її живильною.

Продувка буває двох видів:

- безперервна;
- періодична.

Рівняння сольового балансу має вигляд:

$$S_{ж.в.} \cdot D_{ж.в.} = S_n \cdot D_n + S_{к.в.} \cdot D_{пр}, \quad (6.1)$$

де $S_{ж.в.}$, S_n , $S_{к.в.}$ – солемістживильної води, пари і котлової води, відповідно, мг/кг;

$D_{ж.в.}$, D_n , $D_{пр}$ – витрата живильної води, паропродуктивність, витрата продувочної води, відповідно.

Рівняння матеріального балансу котла має вигляд:

$$D_{ж.в.} = D_n + D_{пр}. \quad (6.2)$$

Вирішуючи систему рівнянь (6.1) і (6.2), одержимо:

$$D_{пр} = \frac{S_{ж.в.} - S_n}{S_{к.в.} - S_{ж.в.}} \cdot D_n.$$

З цього виразу одержимо:

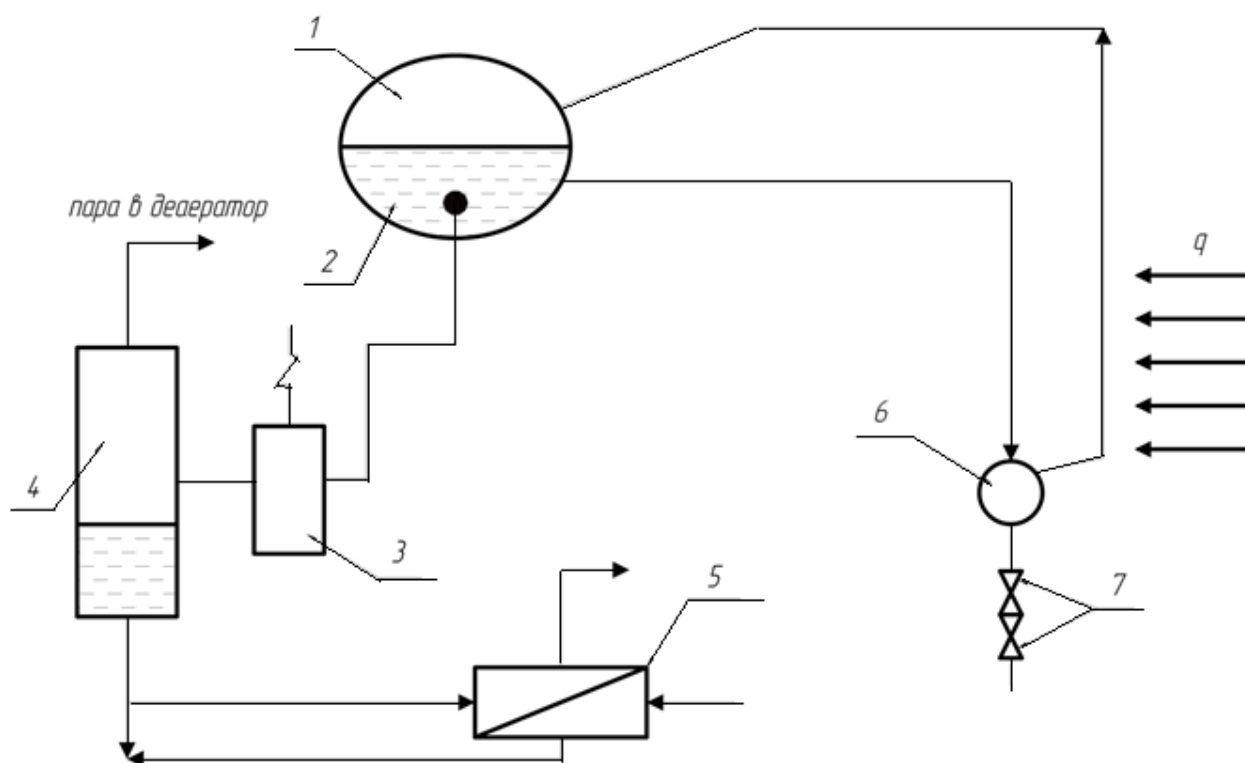
$$p = \frac{D_{пр}}{D_n} \cdot 100\% = \frac{S_{ж.в.} - S_n}{S_{к.в.} - S_{ж.в.}} \cdot 100\%,$$

де p – продувка котла, %.

Процес продувки означає втрати теплоти з продувочною водою, яка нагріта до температури кипіння. Тому процес продувки повинний бути якнайменший. Безперервна продувка проводиться з верхнього барабану, а періодична – з нижнього колектора.

6.1.2 Схема організації продувки котла

Схема продувки котла представлена на *рисунку 6.1*.



1-барaban; 2-водовідбірний пристрій; 3-регулятор; 4-розширювач; 5-теплообмінник; 6-нижній колектор; 7-вентилі періодичної продувки

Рисунок 6.1– Схема організації продувки котла

Безперервна продувка проводиться з верхнього барабану котла 1 за допомогою водозабірною пристрою 2, що являє собою перфоровану трубу (труба з отворами), прокладену по довжині барабану в його водному об'ємі. Витрата води на продувку регулюється за допомогою регулятора 3. Далі продувна вода направляєється в розширювач 4, де тиск нижче тиску в барабані. При цьому пара, що виділилася, направляєється в деаератор. З розширювача 4 вода надходить у теплообмінник 5, де підігріває воду, яка йде на хімоводоочистку. Періодична продувка проводиться з нижнього колектора 6 за допомогою вентилів 7.

6.1.3 Східчастий випар

Солевміст пари прямопропорційний солевмісту котлової води. Це положення підтверджується рівнянням:

$$S_n = B \cdot S_{к.в.},$$

де S_n - солеміст пари; $S_{к.в.}$ - солеміст котлової води; B - коефіцієнт віднесення.

Зневажаючи солемістом пари в рівнянні (6.1) у виді його малості, з рівняння (6.1) одержимо:

$$S_{к.в.} = S_{ж.в.} \cdot \frac{D_{ж.в.}}{D_{пр}} = S_{ж.в.} \cdot \frac{(D_n + D_{пр})}{D_{пр}} = S_{ж.в.} \cdot \left(1 + \frac{D_n}{D_{пр}} \right).$$

Підставляючи, одержимо:

$$S_n = B \cdot S_{ж.в.} \cdot \left(1 + \frac{D_n}{D_{пр}} \right).$$

Схема циркуляції котлової води безсхідцевого випару і схема циркуляції котлової води при двосхідцевому випарі представлені на *рисунках 6.2 і 6.3*, відповідно.

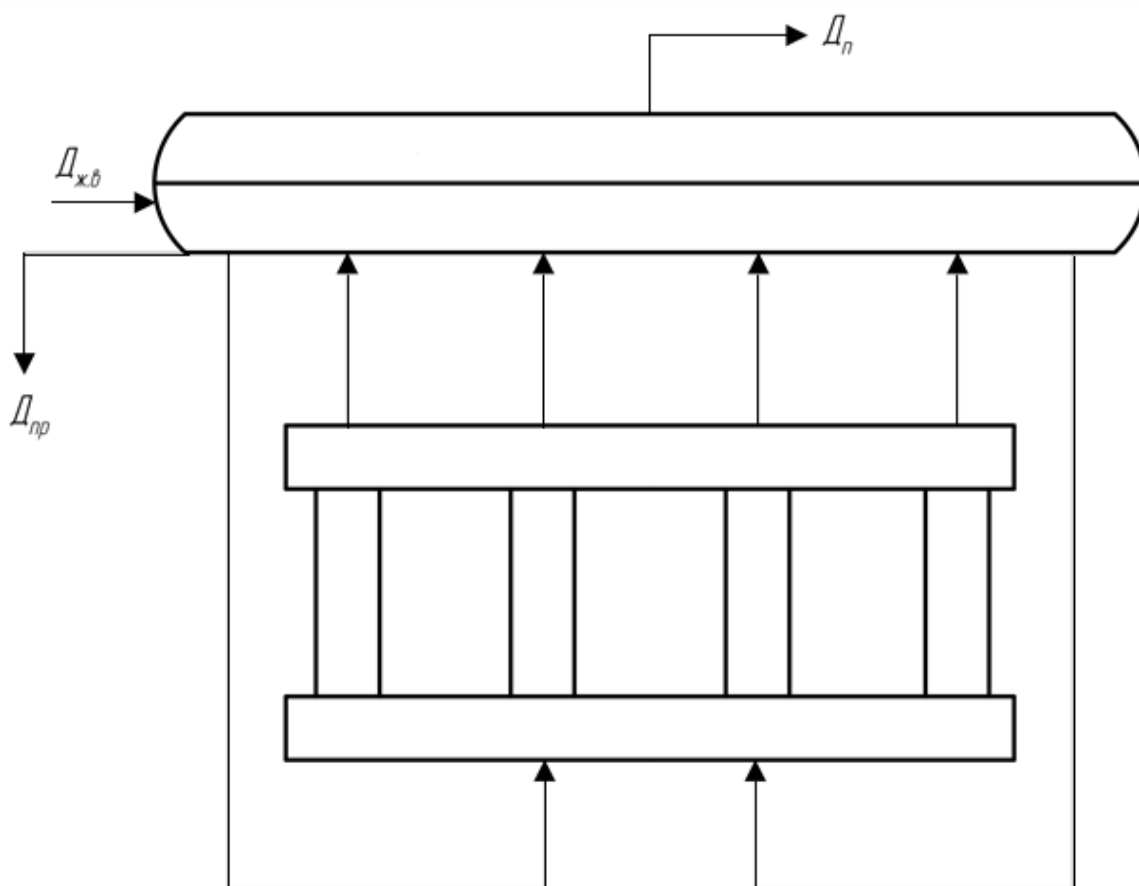
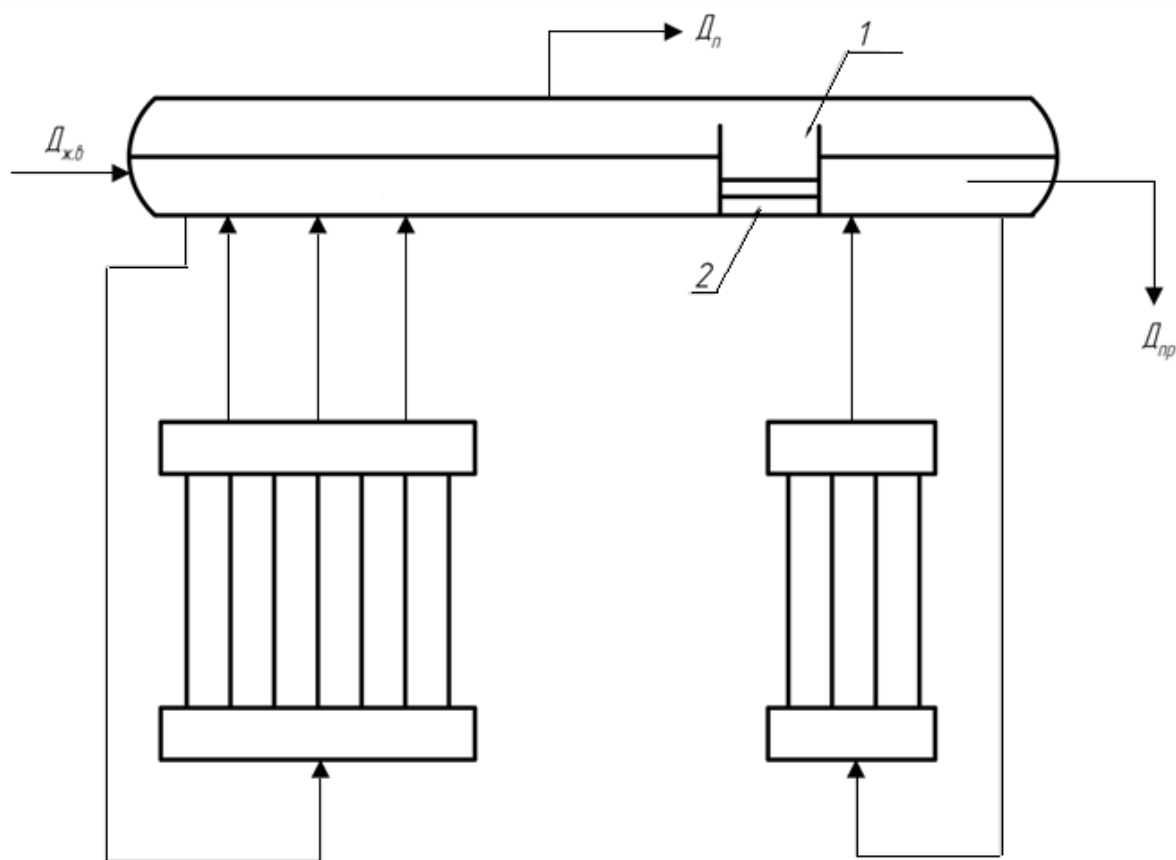


Рисунок 6.2 – Схема циркуляції котлової води безсхідцевого випару



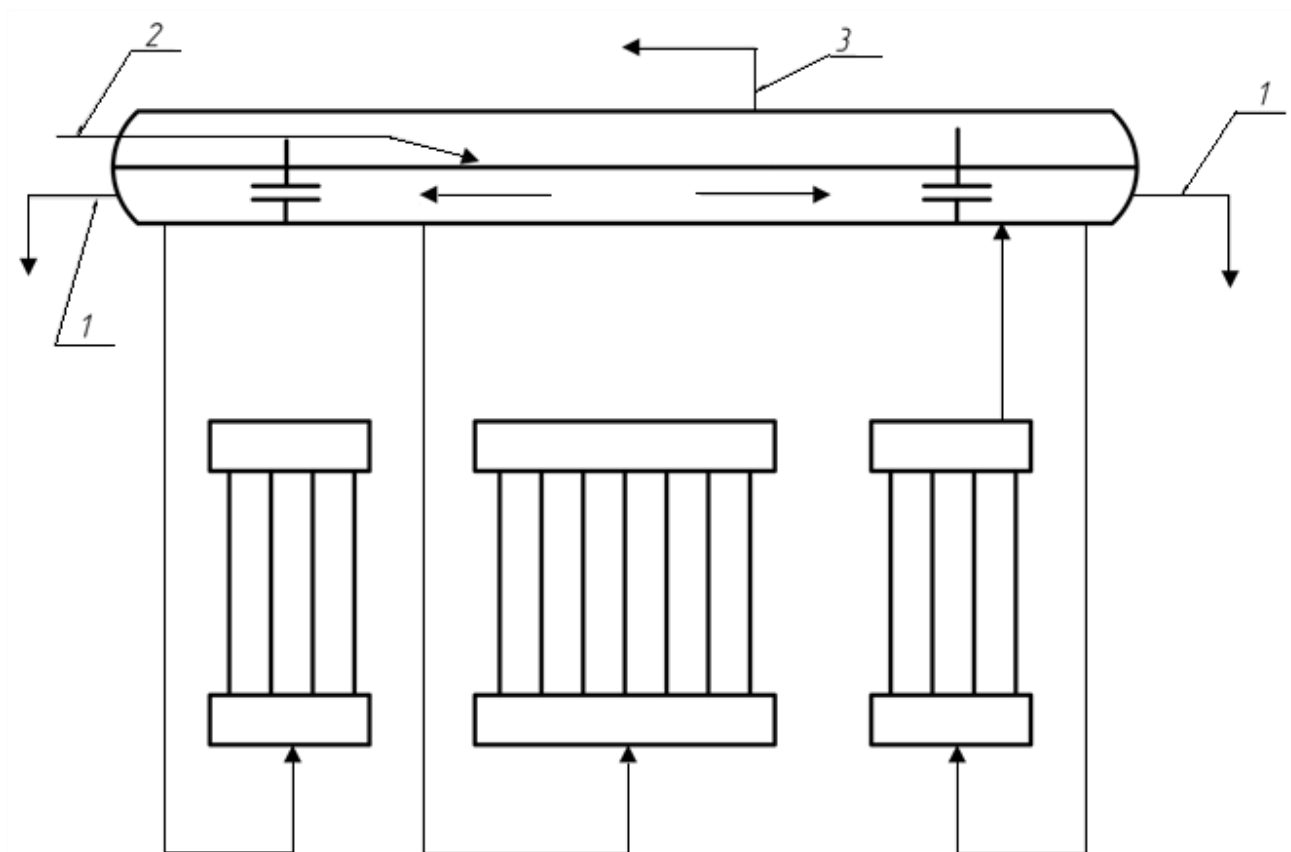
1-внутрібарабанна перегородка; 2-отвір в перегородці

Рисунок 6.3 – Схема циркуляції котлової води при двохідовому випарі

На **рисунку 6.3** на відміну від **рисунку 6.2** циркуляція котлової води здійснюється по незалежних контурах, що поєднуються по воді через отвір 2 у перегородці 1. При цьому перегородки 1 розділяють водний об'єм барабана на два відсіки:

- чистий, у який подається живильна вода і з якого проводиться відбір пари;
- крайній сольовий, з якого проводиться продувка.

Схема двостороннього розташування сольових відсіків у барабані котла представлена на **рисунку 6.4**.



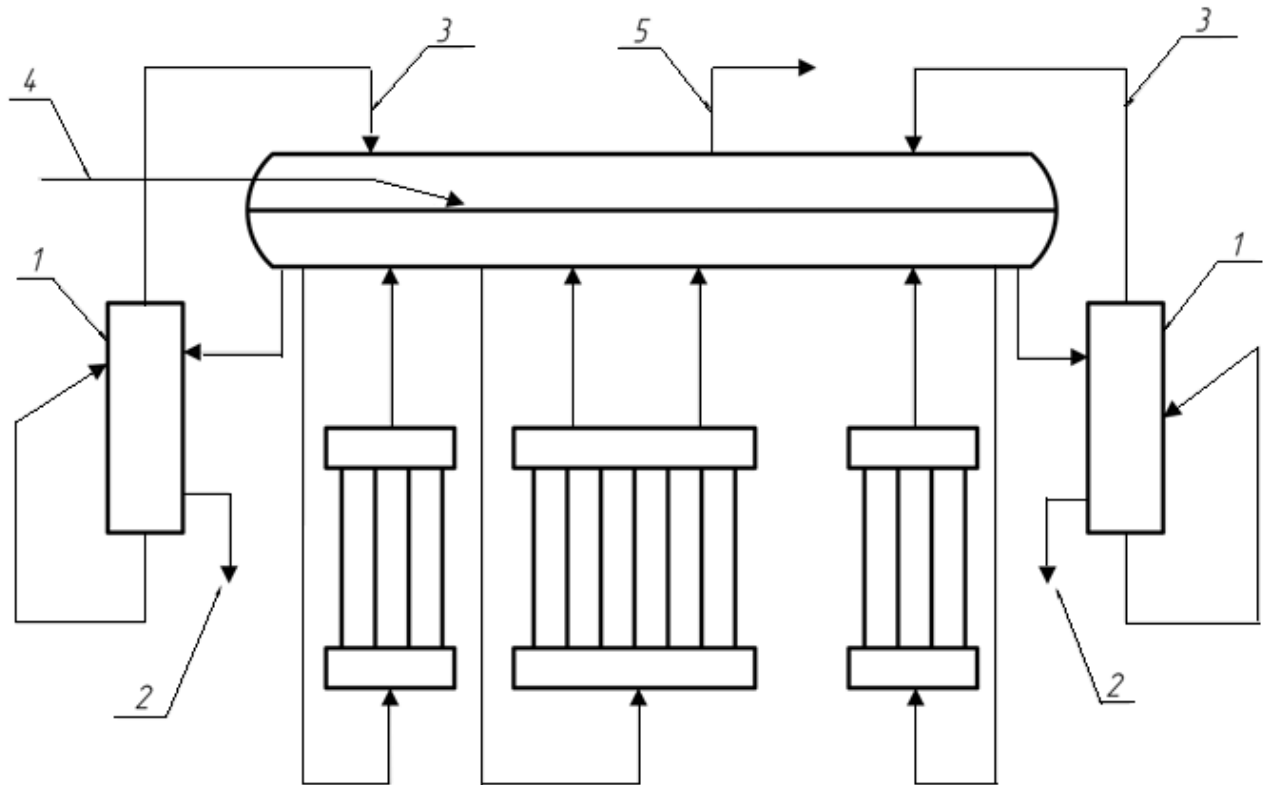
1-продувка; 2-живильна вода; 3-пара

Рисунок 6.4 - Схема двостороннього розташування сольових відсіків у барабані котла

На практиці застосовують двостороннє розташування сольових відсіків для симетричності організації відбору пари.

Недоліками даної схеми є ускладнення проведення і контролю продувки. Крім того, можливе перекидання води із сольового відсіку в чистий. Тому застосовують схему з виносними циклонами (*рис. 6.5*).

Застосування виносних циклонів для продувки дозволяє розвантажити паровий об'єм барабана і тим самим підвищити якість пари.



1-циклон; 2-продувка; 3-відведення пари з циклону; 4-підведення живильної води в барабан; 5-відведення пари споживачам

Рисунок 6.5 – Схема з виносними циклонами

Контрольні питання до теми 6.1

1. З якою метою проводиться продувка котла?
2. Які складові є основними при складанні сольового і матеріального балансів?
3. Опишіть схему організації продувки котла.
4. Як визначається солеміст пари?
5. Що ви знаєте про східчастий випар.

Тема 6.2 Якість пари. Сепарація і промивання пари

6.2.1 Якість пари

Під *якістю пари* розуміють зміст у ній нелетучих речовин і виражають у мкг/кг або мг/кг.

Джерелом появи нелетучих речовин у паріє котлова вода. Перехід нелетучих речовин з котлової води в пару, *називається віднесенням*.

Віднесення буває двох видів:

- краплинне віднесення;
- вибіркоче віднесення.

Краплинне віднесення виникає унаслідок потрапляння крапельок води в потік пари. Механізм утворення крапельок води зв'язаний з підведенням пароводяної суміші в барабан. При підведенні пароводяної суміші в паровий об'єм відбувається дроблення струменів на дрібні краплі при ударі об загороджувальні щитки. При підведенні пароводяної суміші у водний об'єм барабана (під шар води) утворення крапельок вологи відбувається за рахунок руйнування оболонок парових пухирців на межі розподілу водного і парового об'єму.

Для краплинного віднесення можливо записати:

$$S_n = B \cdot S_{к.в.},$$

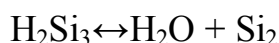
$$\text{де } \frac{(Cl^-)_n}{(Cl^-)_{к.в.}} = \frac{(SO_3^{2-})_n}{(SO_3^{2-})_{к.в.}} = B.$$

Деякі речовини переходять з котлової води в пару у більших кількостях, ніж інші. Це відноситься, насамперед, до кремінної кислоти, яка при підвищеному тиску пари ($p_{II} > 7 \text{ МПа}$) розчиняється в ній.

Поява кремінної кислоти в котловій воді пов'язана з гідролізом силікатів у котловій воді.



У пароперегрівнику котлів високого тиску відбувається дегідратація кремінної кислоти



Si_2 , потрапляючи з парою у проточну частину турбіни, утворює на її лопатках відкладення, що не розчиняються.

Фактори, що впливають на якість пари

Їх можна розділити на дві групи:

- конструктивні;
- експлуатаційні.

До конструктивних факторів відносяться: спосіб підведення пароводяної суміші в барабан котла, висота й об'єм парового простору барабана, спосіб відведення пари з барабана, наявність і ефективність внутрібарабанних, сепараційних пристроїв та інші фактори.

Способи підведення в барабан пароводяної суміші й відведення з нього пари

Схеми підведення в барабан пароводяної суміші і відведення з нього пари представлені на *рисунку 6.6*.

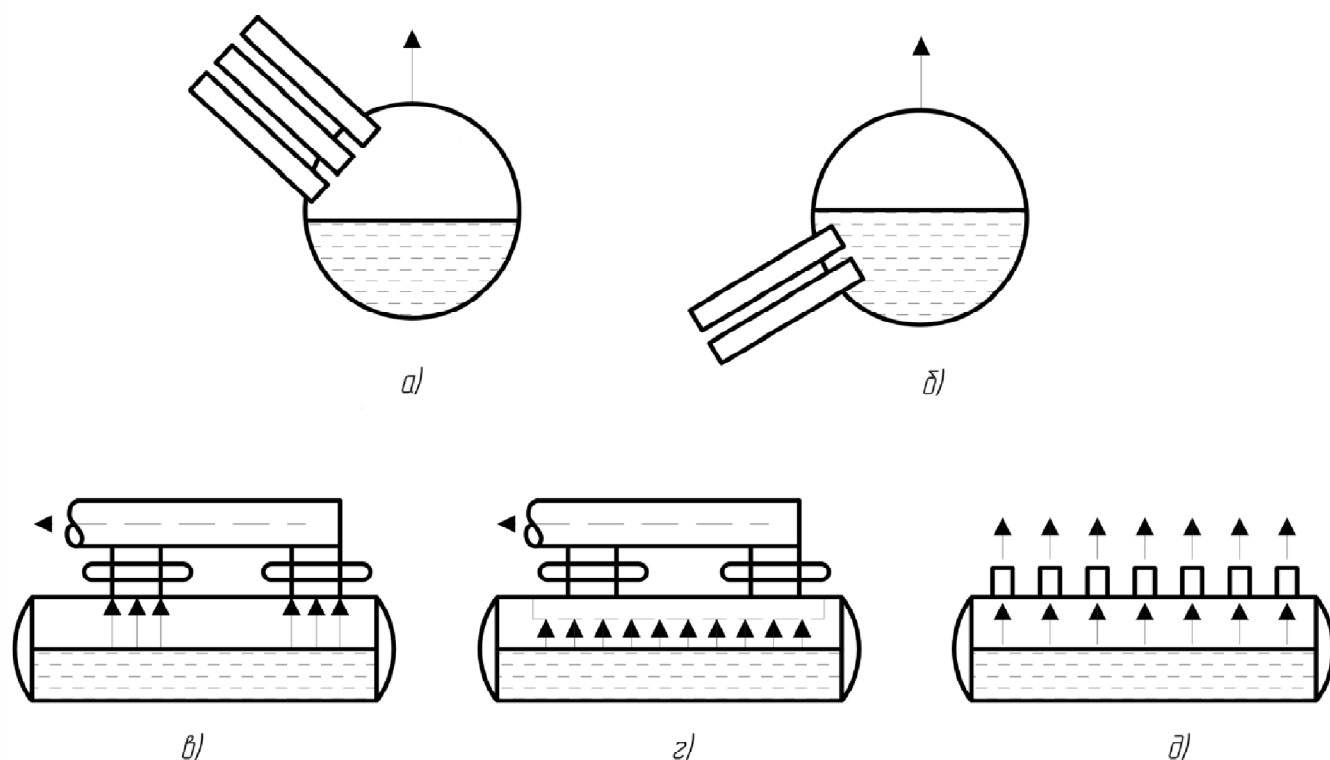


Рисунок 6.6 – Схеми підведення в барабан пароводяної суміші і відведення з нього пари

Пароводяна суміш може підводитися або в паровий об'єм барабана (*рис. 6.6, а*), або під шар води, випадок (*рис. 6.6, б*). Для випадку (*рис. 6.6, а*) на якість пари впливає питоме навантаження парового об'єму R_{σ} .

$$R_{\sigma} = \frac{D_n \cdot \mathcal{G}''}{V_{n.o}}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$$

де \mathcal{G}'' - питомий об'єм пари; D_n - паропродуктивність; $V_{n.o}$ - об'єм парового простору барабана; R_{σ} – середнє паронапруження.

Величина R_{σ} показує, скільки м^3 пари відбирається в одиницю часу з одного кубометра об'єму парового простору. Але при нерівномірному підведенні

пароводяної суміші в паровий об'єм і зосередженому відборі пари з парового обсягу (рис. 6.6, в) паронапруження в окремих частинах об'єму перевищує середнє, тому для підвищення якості пари за схемою (рис. 6.6, а) варто вирівняти паровміст R_6 , застосовуючи розосереджене відведення пари у випадках (рис. 6.6, з) і (рис. 6.6, д). У випадку (рис. 6.6, б) має значення характеристика R_3 :

$$R_3 = \frac{D_n \cdot \mathcal{G}''}{F_3}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$$

де R_3 – питоме парове навантаження дзеркала випару; F_3 – площа поверхні дзеркала випару, тобто площа поверхні води, що розділяє паровий і водний об'єм барабана.

Тому для підвищення якості пари необхідно організувати рівномірне спливання пазирів через водний об'єм барабана.

При подачі пароводяної суміші в барабан за схемою (рис. 6.6, б), відбувається набрякання котлової води за рахунок руху парових пазирів, що зменшує висоту парового об'єму. Крім того, при переході парових пазирів через дзеркало випару утворюється мілкодисперсна волога і крапельки води підстрибують над дзеркалом випару. При недостатній висоті парового об'єму ці крапельки несуться потоком пари.

6.2.2 Експлуатаційні фактори

Виділяється три фактори:

- паропроодуктивність котла;
- висота рівня води в барабані;
- солевміст котлової води.

Залежність солевмісту пари від паропроодуктивності представлена на **рисунку 6.7**.

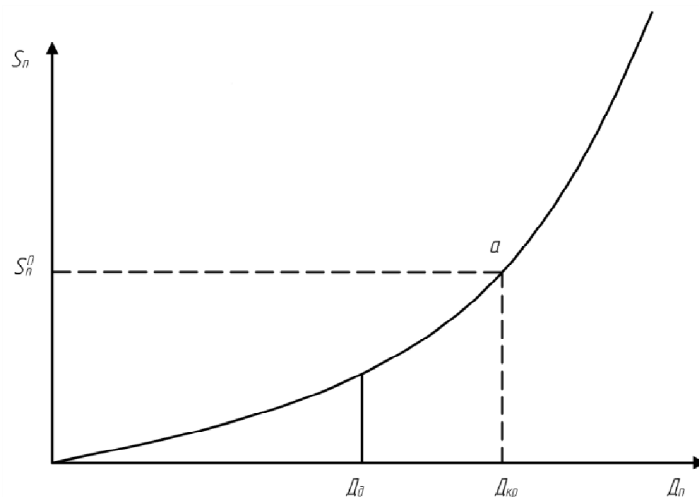


Рисунок 6.7 - Залежність солевмісту пари від паропроодуктивності

З графіка видно, що, починаючи з деякого значення, паропродуктивності $D_{кр}$ солеміст пари починає різко збільшуватися (точка *a* на графіку), тому котел повинен працювати при припустимих навантаженнях, коли $D_n < D_{кр}$, де D_n – припустиме навантаження котла.

$$D_n = (0,7 \dots 0,8) \cdot D_{кр}.$$

Такий же характер має залежність солемісту пари від висоти рівня в барабані і від солемісту котлової води.

6.2.3 Теплохімічні випробування котлів

Задачею цих випробувань є визначення трьох залежностей:

$$S_n = f(D_n), \quad (1)$$

$$S_n = \varphi(h_y), \quad (2)$$

$$S_n = \psi(S_{к.в}). \quad (3)$$

Методика:

- 1) При припустимій паропродуктивності і зниженому солемісті котлової води знаходять залежність (1).
- 2) При середньому значенні h_y і зниженому солемісті котлової води знаходять залежність (2).
- 3) При припустимій паропродуктивності і середньому рівні солемісту котлової води, знаходять залежність (3).

6.2.4 Сепараційні пристрої

У сучасних барабанних котлах застосовуються окремо або в різних сполученнях різні сепараційні пристрої, схеми яких показані на *рисунку 6.8*.

Призначенням сепараційних пристроїв є:

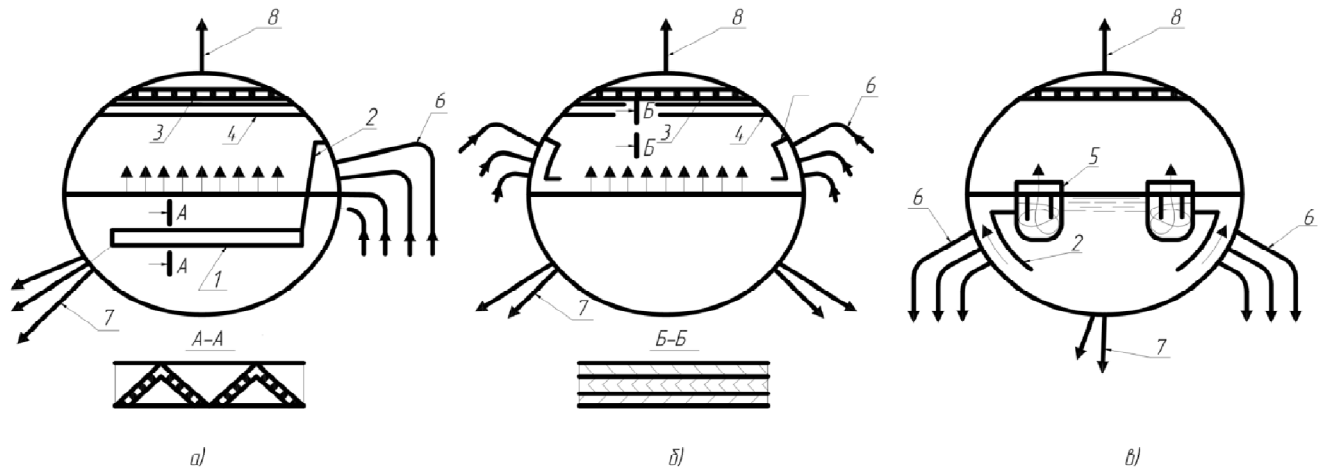
- погасити кінетичну енергію пароводяної суміші, що надходить у барабан, з мінімальним утворенням дрібнодисперсних крапель вологи;
- забезпечити рівномірний розподіл парового навантаження по площі дзеркала випару і потоку пари в об'ємі барабана;
- здійснити видалення з потоку пари крапель вологи.

Відомі три види сепарації:

- 1) гравітаційна;
- 2) інерційна;
- 3) плівкова.

Гравітаційна сепарація, при якій відділення крапель вологи від пари здійснюється при горизонтальному і вертикальному піднімальному русі пари зі стабілізованою малою швидкістю.

Цей принцип сепарації використовується, наприклад, у пристрої, показаному на **рисунку 6.8, а**. Гасіння кінетичної енергії струменя пароводяної суміші і рівномірний розподіл пари відбувається у водяному об'ємі. Відділення крапельок вологи від пари здійснюється в паровому просторі.



а – при підведенні пароводяної суміші під рівень води в барабані; *б* – при підведенні пароводяної суміші в паровий об'єм барабану; *в* – з внутрішньо барабанними циклонами; 1 – розподільний затоплений щит; 2 – відбійний щит; 3 – пароприймальний щит; 4 – жалюзійний сепаратор; 5 – внутрібарабанний циклон; 6 – труби випарювальної поверхні нагріву; 7 – опускні труби; 8 – паровідвідні труби

Рисунок 6.8 – Схема сепараційних пристроїв в барабані котла

Інерційна сепарація. Відділення більш великих крапель води від пари може бути здійснене при різкому прискоренні горизонтального або вертикального потоку пари і наступному зменшенні її швидкості, а також за рахунок відцентрових сил, що діють на краплю при зміні напрямку руху.

Найпростішим інерційним сепаратором є глухі або дірчасті сталеві листи, розміщені вертикально або похило, що одночасно використовуються для гасіння кінетичної енергії пароводяної суміші і відділення основної маси води від пари (**рисунку 6.8, б**).

У жалюзійному сепараторі (**рисунку 6.8, б**) для інерційного відділення крапель води використовується зміна прискорення потоків у сепараторі і на виході з нього, а також багаторазова зміна його напрямку, що підвищує ефективність сепарації.

Відцентровий сепаратор циклонного типу, у якому відбувається інтенсивне закручування потоку вологої пари, показаний на **рисунку 6.8, в**. Циклонні сепаратори забезпечують ефективне відділення крапель вологи за рахунок дії на них відцентрових сил, що відкидають краплі до стінки циклона, де вони затримуються на плівці води, що стікає на дзеркало випару.

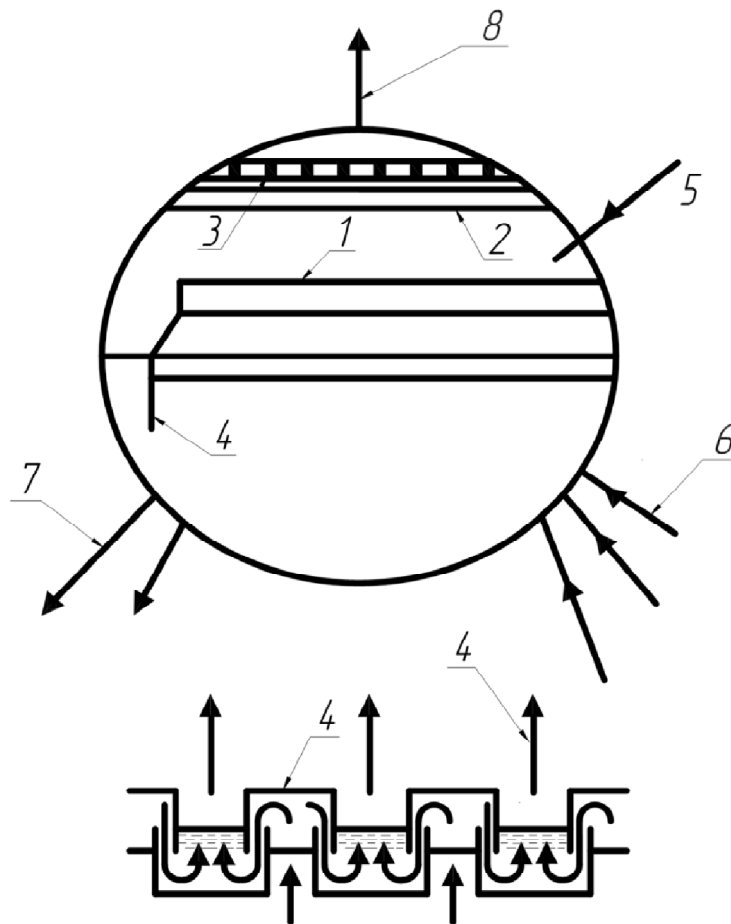
Плівковасепарація заснована на використанні здатності налипання дрібних крапель води, які не володіють інерційними властивостями, на зволожену і розвинену поверхню при зіткненні з нею потоку вологої пари.

Плівкова сепарація використовується в циклонних сепараторах.

Для забезпечення якості пари важливе значення має рівномірний розподіл парового навантаження по дзеркалу випару й у паровому об'ємі. З метою досягнення другої задачі на виході з барабана встановлюють пароприймальні щіти, які за рахунок створюваного підпору (опору) потоку забезпечують рівномірність парового навантаження в об'ємі барабана.

6.2.5 Промивання пари

Схема сепараційного пристрою з промиванням пари представлена на *рисунку 6.9*.



1 – щит з промивними коритцями; 2 – жалюзійний сепаратор; 3 – пароприймальний щит; 4 – розподільчий щит; 5 – підведення живильної води; 6 – труби випарувальної поверхні нагріву; 7 – опускні труби; 8 – паровідвідні труби

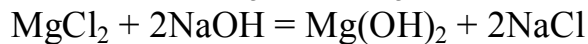
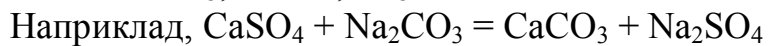
Рисунок 6.9 – Схема сепараційного пристрою з промивкою пари

Промивання пари застосовується в котлах високого тиску. Оскільки при тиску парибільше 0,7 МПа в ньому розчиняються з'єднання, наприклад, кремінної кислоти, які не можуть відокремитися шляхом сепарації.

Промивання париполягає в пропущенні пари через шар живильної води, яка подається на промивний щит 1. При цьому розчинені в парі речовини переходять у живильну воду, однак при цьому підвищується вологість пари. Тому тут обов'язкова установка на шляху потоку пари жалюзійного сепаратора для видалення крапельок води.

6.2.6 Внутрікотлова обробка води

З метою корекційної обробки котлової води використовують наступні речовини: Na_2CO_3 ; NaOH ; Na_3PO_4 .



Незважаючи на заходи, які застосовуються для забезпечення водного режиму котлів у процесі експлуатації, особливо в теплонавантажених ділянках, утворюються внутрішні відкладення, які при розкритті котлів необхідно видаляти, тому що відкладення призводять до перегріву трубі погіршення теплопередачі.

Існує два способи видалення відкладень (внутрішніх) у котлах:

- механічний;
- кислотні промивання.

Механічний спосіб полягає в знятті шару відкладень за допомогою спеціальних пристроїв.

Кислотне промивання заключається в подачі за допомогою спеціального насоса розчину соляної кислоти у випарну систему котла і наступною циркуляцією цього розчину протягом визначеного часу. При цьому з метою запобігання руйнування металу труб у розчин кислоти додають сповільнювачі корозії (пасиватори, інгібітори).

Контрольні питання до теми 6.2

1. Що розуміють під якістю пари?
2. Перерахуйте фактори, що впливають на якість пари.
3. Які засоби підведення в барабан пароводяної суміші й відведення з нього пари ви знаєте?
4. Які фактори називають експлуатаційними?
5. Як проводяться теплохімічні випробування котлів?
6. У чому полягає призначення сепараційних пристроїв.
7. Які види сепарації ви знаєте? Дайте детальну характеристику кожному з видів сепарації.
8. Для чого застосовується промивання пари?
9. З якою метою проводиться внутрікотлова обробка води?

РОЗДІЛ 7

ХАРАКТЕРИСТИКА І КОНСТРУКЦІЇ КОТЛІВ

Тема 7.1 Теплова схема котла

7.1.1 Характеристика теплової схеми

Тепловою схемою котла називають схему:

- яка встановлює взаємозв'язок елементів котла;
- яка визначає розподілення приросту ентальпії води, пароводяної суміші, пари і повітря в елементах котла;
- яка показує розміщення елементів котла по ходу руху потоку продуктів згоряння.

Теплова схема котла повинна забезпечувати оптимальні його конструктивні й експлуатаційні характеристики і визначатися параметрами пари, типом і потужністю котла, видом палива і способом його спалювання. Характерними параметрами теплової схеми є відносний приріст ентальпії води при її нагріванні й випарі пари при його перегріві; температура продуктів згоряння на виході з топки; температура підігріву повітря і відхідних продуктів згоряння.

7.1.2 Теплосприймання у випарній системі, економайзері і пароперегрівнику

Приріст ентальпії у водяному економайзері й конвективних випарних системах поверхонь нагрівання повинен складатися з величини, обумовлену з виразу, кДж/кг,

$$\Delta i_{ек} + \Delta i_{в.н} = (i_{н.н} - i_{ж.в}) - (\Delta i_m + \Delta i_{не}),$$

де $i_{н.н}$, $i_{ж.в}$ - ентальпії перегрітої пари і живильної води, кДж/кг;

$\Delta i_{ек}$, $\Delta i_{в.н}$, Δi_m , $\Delta i_{не}$ - приріст ентальпії у водяному економайзері, у конвективних випарних поверхнях нагрівання, в екранах і випарних ширмах, і в пароперегрівнику, кДж/кг.

У залежності від виду палива і способу його спалювання частка тепла, передана екранам при сухих твердих паливах, газіймазуті, складає 56...60 %, а при вологих твердих паливах 45...48 %, тобто істотно менше, ніж необхідно для пароутворення. Це відноситься і до котлів високого тиску, які працюють на вологомутвердому паливі.

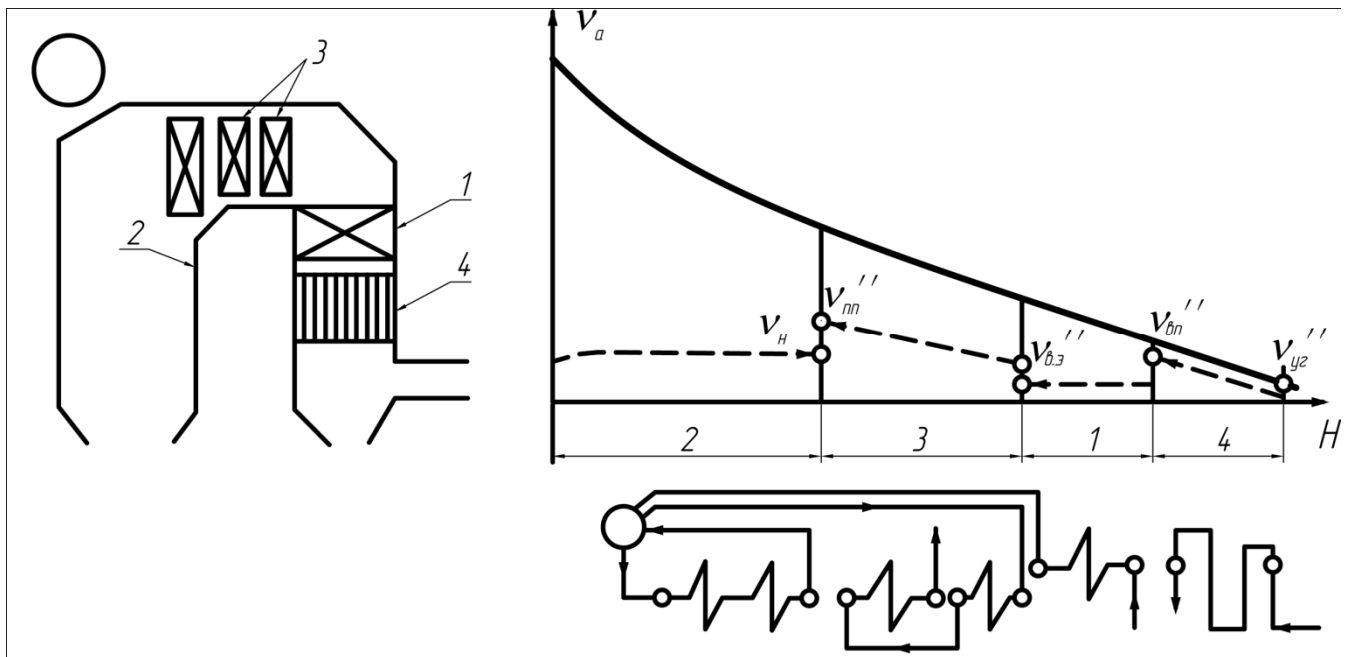
При низьких параметрах паричасткатеплосприймання, яка витрачається на випар води, значно вище теплосприймання в екранах і можливого при припустимому паровмісті в економайзері, і тому виникає необхідність у

застосуванні конвективних випарних поверхонь нагрівання, які звичайно і є в котлах малої потужності й низького тиску.

У сучасних котлах при температурі перегріву пари до $565\text{ }^{\circ}\text{C}$ теплосприйняття котласкладає до 50 %.

7.1.3 Теплові схеми котлів

На *рисунку 7.1* показана теплова схема котла середнього тиску з природною циркуляцією для роботи на газі і мазуті. Випар води здійснюється в екранах топки, фестоній частково в киплячому економайзері. Пароперегрівник двосхідцевий і розташований безпосередньо за фестоном в області високих температур газів, що визначається прагненням зменшити його поверхню нагрівання при значному в ньому теплосприйманні, яєскладає близько 20% від загального. Регулювання температури перегрітої парипередбачено в поверхневому охолоджувачі. За пароперегрівником по ходу газів послідовно розташовуються киплячий водяний економайзер і за ним останнім по ходу газів – повітропідігрівник. Односхідчасте компонування економайзера і повітропідігрівника можливі внаслідок прийнятої невисокої температури підігріву повітря (до $200\text{ }^{\circ}\text{C}$).

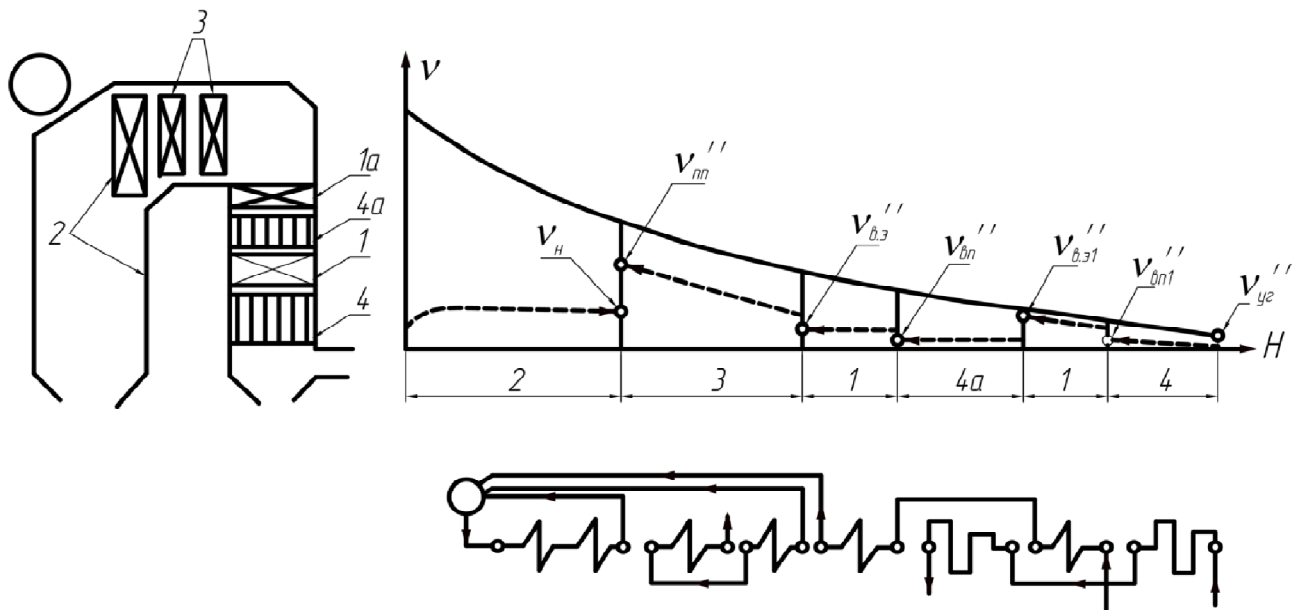


1 – водяний економайзер I східця; *1а* – водяний економайзер II східця; *2* – випарювальні поверхні нагріву; *3* – пароперегрівач; *4* – повітропідігрівач I східця; *4а* – повітропідігрівач II східця

Рисунок 7.1 – Парова схема котла середнього тиску на газі та мазуті

На **рисунку 7.2** показана теплова схема сучасного котла високого тиску з природною циркуляцією, призначеного для роботи на пилу твердого палива.

Випарними поверхнями нагрівання є екрани, розташовані в топці і фестон.



1 – водяний економайзер I східця; 1а – водяний економайзер II східця; 2 – випарювальні поверхні нагріву; 3 – пароперегрівач; 4 – повітропідігрівач I східця; 4а – повітропідігрівач II східця

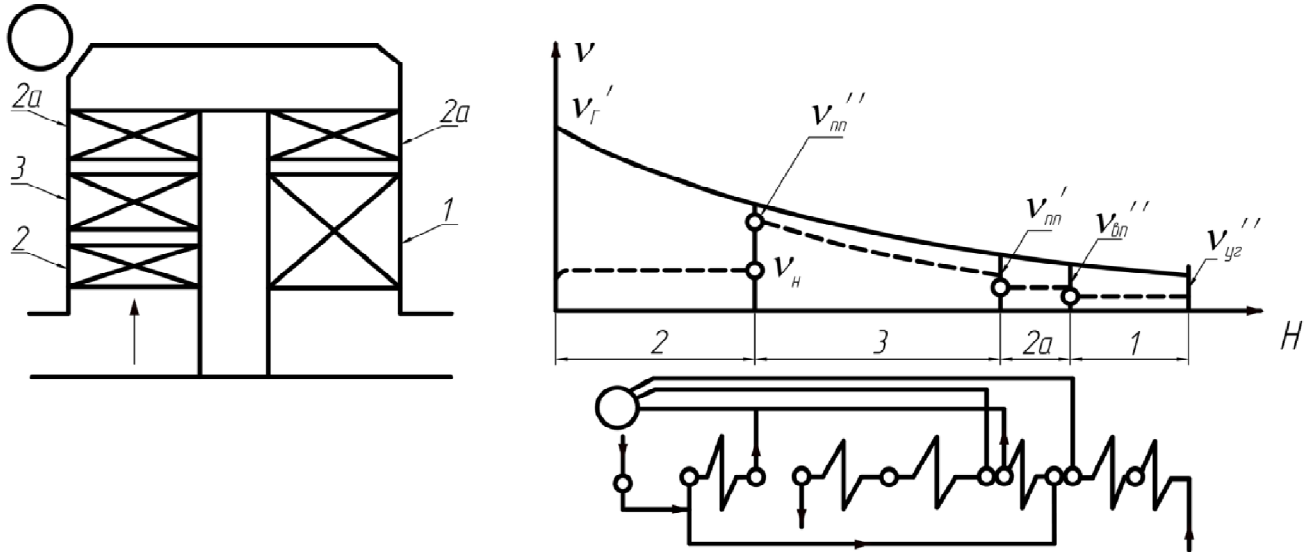
Рисунок 7.2 – Парова схема котла високого тиску з природною циркуляцією, який працює на пилувугільному паливі

Частково випар води здійснюється й в економайзері, паровміст у воді й на виході з якого не перевищує 15 %. Пароперегрівник виконаний радіаційно-конвективним. Радіаційна частина пароперегрівника виконана у вигляді ширм, розміщена в топці, конвективна частина розташована безпосередньо за фестонем. Така організація теплосприйняття пароперегрівника забезпечує можливість зниження температури продуктів згоряння на виході з топки до оптимальної і поліпшує умови регулювання температури перегріву пари.

За пароперегрівником в опускній шахті розташовані водяний економайзер і повітропідігрівник, скомпоновані кожний в два східця. Застосування такого розташування економайзера і повітропідігрівника визначається необхідністю високого підігріву повітря (вище 300 °С).

На **рисунку 7.3** показана теплова схема конвективного котла середнього тиску з багаторазовою примусовою циркуляцією, призначеного для використання фізичного тепла відхідних газів, від технологічних агрегатів. Випарні поверхні нагрівання, виконані у виді пакетів зі зміювиків, включені рівнобіжними контурами в систему примусової циркуляції, що зменшує втрати напору в циркуляційній системі і знижує витрату електроенергії на циркуляційні насоси. Пароперегрівник розміщується між першим і другим по

ходу газів пакетами випарних поверхонь нагрівання, що охороняє його від впливу високих температур газів, які можуть виникати в процесі роботи технологічного агрегату. Останнім по ходу газу розташовується економайзер. Для забезпечення достатнього охолодження газів температура води, яка надходить у нього безпосередньо після деаератора, приймається близько 105 °С.



1 – водяний економайзер I схи́дця; 1а – водяний економайзер II схи́дця; 2 – випарювальні поверхні нагріву; 3 – пароперегрівач; 4 – повітропідігрівач I схи́дця; 4а – повітропідігрівач II схи́дця

Рисунок 7.3 – Парова схема конвективного котла середнього тиску з багатократною примусовою циркуляцією на відхідних газах технологічних агрегатів

7.1.4 Температура газів на виході з топки і температура відхідних газів

Температура продуктів згорання на виході з топки

Розподіл тепла, переданого радіаційним і конвективним поверхням нагрівання котла, визначається значенням температури продуктів згорання на виході з топки. Збільшення цієї температури підвищує середню температуру у топці й інтенсифікує радіаційний теплообмін. Зниження температури продуктів згорання на виході з топки призводить до зворотних результатів. У загальному випадку оптимальна температура продуктів згорання на виході з топки ϑ_m'' визначається техніко-економічними розрахунками по мінімуму розрахункових витрат на котел.

При спалюванні пилувугільного палива температура продуктів згоряння на виході з топки не повинна перевищувати температуру, припустиму за умовами шлакування; при спалюванні усіх видів палива вона повинна забезпечувати активний процес його горіння з мінімальними втратами від хімічної і механічної неповноти горіння. Звичайно температура продуктів згоряння перед фестоном або фестоновою поверхнею нагрівання приймається рівній температурі початку розм'якшення золи t_1 , але не більш 1100 °С.

При роботі котла на газі і мазуті по техніко-економічним розумінням температура перед конвективними поверхнями нагрівання повинна бути менше 950...1000 °С.

Температура відхідних газів

Температура відхідних газів впливає на теплову економічність котла. Зниження температури відхідних газів на 12...16 °С підвищує к.к.д. котла приблизно на 1 %.

Оптимальна температура відхідних газів за котлами, які працюють на різних паливах, визначається на підставі техніко-економічних розрахунків по мінімуму розрахункових витрат за даною ціною палива.

Істотний вплив на значення оптимальної температури відхідних газів робить температура живильної води, підвищення якої призводить до відносного збільшення конвективних поверхонь нагріву при даній температурі відхідних газів.

Рекомендуємі температури відхідних газів за котлами в залежності від приведеної W^n вологості палива і його вартості, параметрів пари і температури живильної води вибираються в такий спосіб.

Наприклад, для котлів паропродуктивністю більш 75 т/год з тиском пари 4...6 МПа і з температурою живильної води $\vartheta_{ж.в} = 150$ °С при використанні вологого палива $W^n = 1...5$ %, рекомендується температура відхідних газів $\vartheta_{відх.} = 110...120$ °С; при високому тиску пари 8...12 МПа і $\vartheta_{ж.в} = 215$ °С при тій же вартості вологого палива рекомендується $\vartheta_{відх.} = 120...130$ °С; при роботі на високосірчастому мазуті приймається $\vartheta_{відх.} = 150...160$ °С.

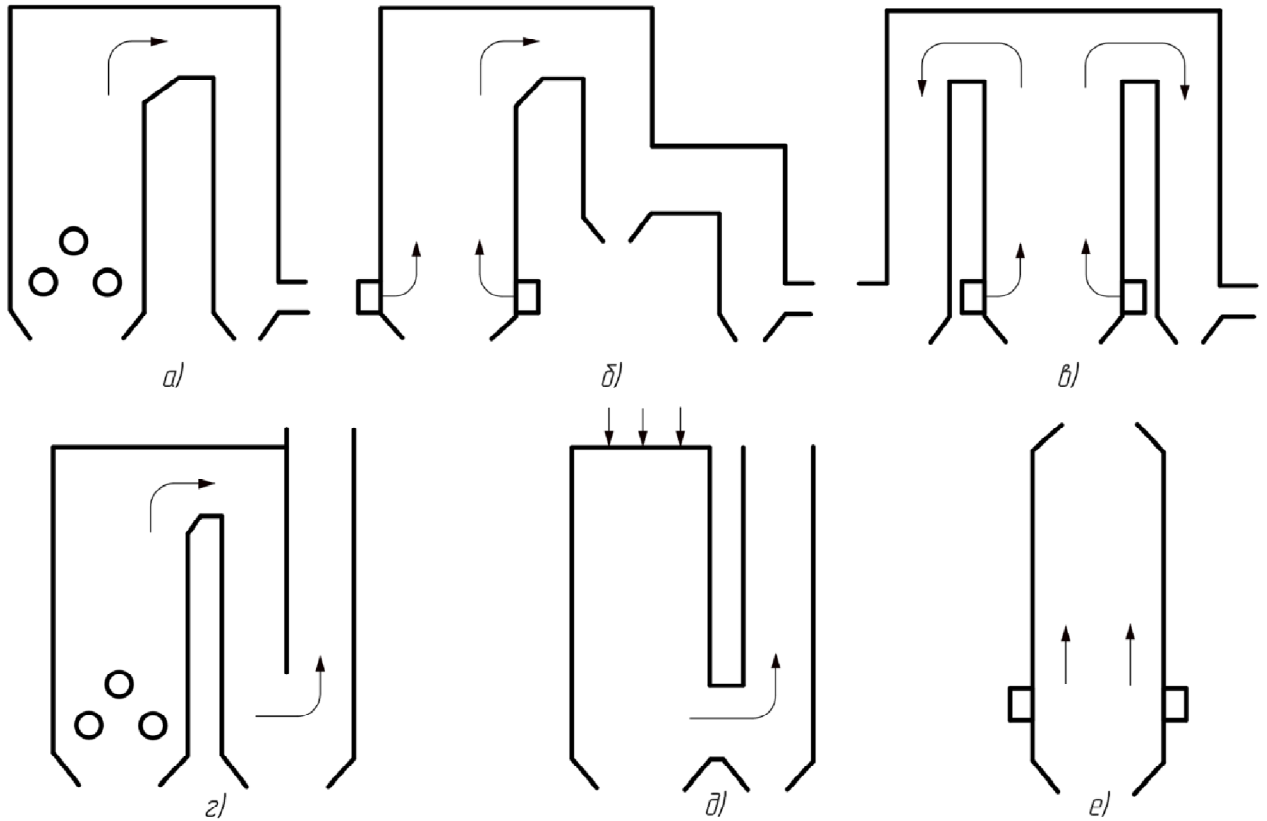
Для котлів з паропродуктивністю, менше 75 т/год., температура відхідних газів приймається трохи більшою з метою спрощення і здешевлення їхньої конструкції. Наприклад, для котлів паропродуктивністю до 12 т/год., які працюють на твердому паливі з $W^n < 6$ %, звичайно приймається $\vartheta_{відх.} = 160...180$ °С.

7.1.5 Компонування котлів

Підкомпонуванням котлів мається на увазі взаємне розташування газоходів і поверхонь нагрівання.

Схеми компонувань котлів представлені на *рисунок 7.4*.

Найбільш поширене П-образне компоновання (*рис. 7.4, а*). Перевагामийогоє подача палива в нижню частину топки і видача продуктів згоряння з нижньої частини конвективної шахти. Недоліки цього компоновання - нерівномірне заповнення газами топкової камери і нерівномірне омивання продуктами згоряння поверхонь нагрівання, розташованих у верхній частині агрегату, а також нерівномірна концентрація золи по перетинуконвективної шахти.



а – П-образне компоновання; *б* – двоходове компоновання; *в* – компоновання з двома конвективними шахтами; *г* – компоновання з U-образними конвективними шахтами; *д* – компоновання з інверторною топкою; *е* – баштове компоновання

Рисунок 7.4 – Схеми компоновання котлів

Т-образне компоновання з двома конвективними шахтами, розташованими по обидві сторони топки з піднімальним рухом газів у топці (*рис. 7.4, в*), дозволяє зменшити глибину конвективної шахти і висоту горизонтального газоходу, але наявність двох конвективних шахт ускладнює відведення газів.

Трьохходове компоновання агрегату з двома конвективними шахтами (*рис. 7.4, г*) іноді застосовується при верхньому розташуванні димососів. Чотирьохходове компоновання з двома вертикальними перехідними газоходами, заповненими розрідженими поверхнями нагрівання, застосовується при роботі агрегату на зольному паливі з легкоплавкою золою.

Баштове компоновання (*рис. 7.4, е*) використовується для пікових котлів, які працюють на газі і мазуті з метою використання самотяги газоходу. При цьому виникають утруднення, пов'язані зі здійсненням опорної конструкції для конвективних поверхонь нагрівання.

U-образне компоновання зінверторною топкою зі спадним у ній потоком продуктів згорання і піднімальним їхнім рухом у конвективній шахті (*рис. 7.4, д*) забезпечує добре заповнення топки факелом, низьке розташування пароперегрівників і мінімальний опір повітряного тракту внаслідок малої довжини повітроводів. Недолік такого компоновання – погіршена аеродинаміка перехідного газоходу, обумовлена розташуванням пальників, димососів і вентиляторів на великій висоті. Таке компоновання може виявитися доцільним при роботі агрегату на газі і мазуті.

Контрольні питання до теми 7.1

1. Приведіть характеристику теплової схеми котла.
2. Яким чином відбувається теплосприймання у випарній системі, економайзері і пароперегрівнику.
3. Опишіть теплову схему котла середнього тиску, який працює на газі і мазуті.
4. Опишіть теплову схему котла високого тиску з природною циркуляцією, який працює на пиловугільному паливі.
5. Опишіть теплову схему конвективного парогенератора середнього тиску з багаторазовою примусовою циркуляцією, який працює на відхідних газах технологічних агрегатів.
6. Якою повинна бути температура продуктів згорання на виході з топки?
7. Як вибирається температура відхідних продуктів згорання?
8. Які схеми компоновань котлів ви знаєте? Дайте стислу характеристику кожній з них.

Тема 7.2 Котлоагрегати спеціального призначення (тема для самостійного опрацювання)

7.2.1 Водогрійні котли

Ці котли призначені для використання в централізованих системах теплопостачання, або для покриття пікових теплофікаційних навантажень. Вони працюють з постійною витратою води і нагрівають її до 150 °С. Особливістю роботи цих котлів є те, що температура на вході повинна бути вище температури точки роси продуктів згорання палива, яке застосовується. Для природного газу ця температура приблизно складає 60 °С. Оскільки температура мережної води звичайно нижче, то до неї підмішують нагріту воду, тобто застосовують рециркуляцію. Загальний вид котла представлений на *рисунку 7.5*.

Ці котли виконують по двом компонованням:

- баштове;
- П-образне.

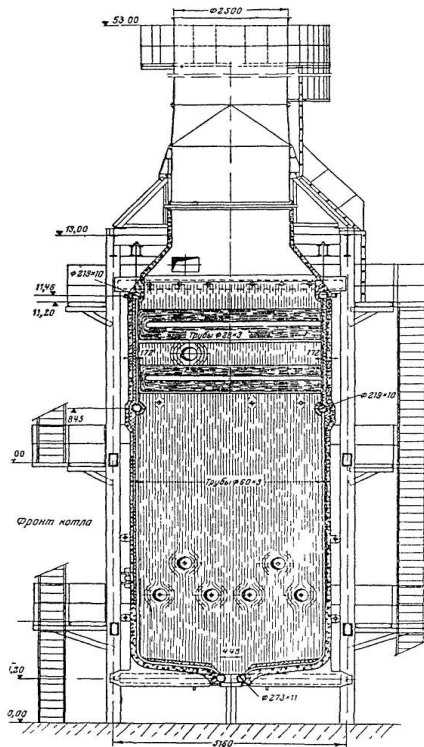


Рисунок 7.5 - Поздовжній переріз котла ПТВМ-50

Застосовують котли типу ПТВМ – 50 (з баштовим компонованням); ПТВМ – 30 М (з П-образним компонованням); КВ-ГМ.

Основною характеристикою цих котлів є теплопродуктивність у Гкал/год (МВт). Для ПТВМ – 50 теплопродуктивність складає 58 МВт, а для котлів ПТВМ – 30 М теплопродуктивність складає 35 МВт.

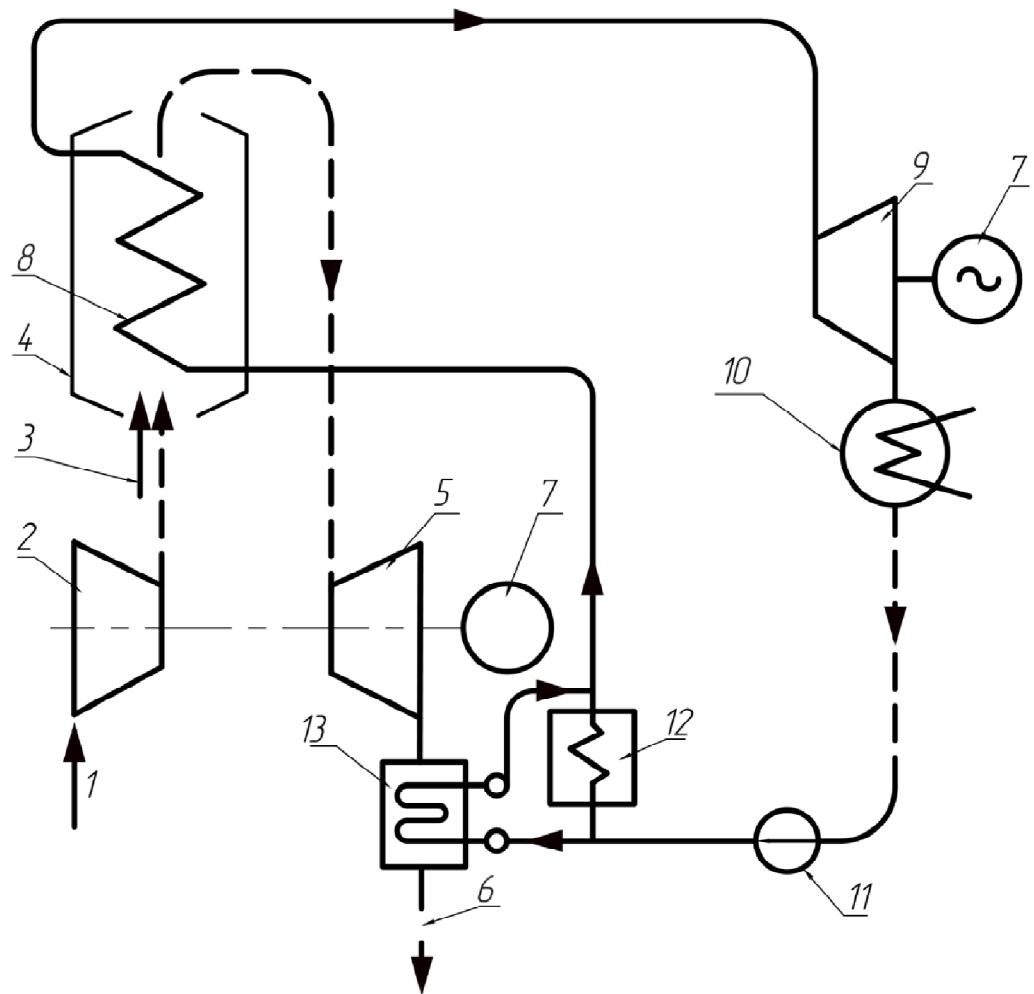
7.2.2 Парогазові установки (ПГУ)

Традиційно пара, яка виробляється в котлах, використовується в паротурбінних установках з наступним одержанням електроенергії. Однак більш економічними є ПГУ.

Принципова схема парогазової установки з високонапірним генератором представлена на **рисунку 7.6**.

Основою ПГУ є високонапірний котел, у якому паливо спалюється при тиску в топковій камері 0,5...0,7 МПа. Цей тиск створюється за рахунок подачі на горіння компресорного повітря. Перевагою таких котлів є відсутність присосів навколишнього повітря, а також інтенсифікація процесів спалювання палива. Однак існує вибивання продуктів горіння і потрібна ретельна герметизація топки і газоходів. Стиснення повітря, яке надходить на горіння, відбувається в компресорі 2, який знаходиться на одному валу з газовою турбіною. Продукти горіння палива під тиском надходять у газову турбіну 5, приводячи її ротор в обертання, за рахунок чого виробляється електроенергія в електрогенераторі 7, який також знаходиться на одному валу з турбіною.

Відпрацьовані в турбіні продукти горіння проходять через водяний економайзер, де підігрівають воду, яка надходить у котел. Крім того, у схемі мається підігрівник високого тиску 12 для води.



1 – відбір повітря; 2 – компресор; 3 – паливо; 4 – камера згоряння; 5 – газова турбіна; 6 – вихлоп відпрацьованих газів; 7 – електрогенератор; 8 – котел; 9 – парова турбіна; 10 – конденсатор; 11 – насос; 12 – підігрівач високого тиску; 13 – регенеративний підігрівач на відхідних газах

Рисунок 7.6 – Принципова схема парогазової установки з високотисковим котлом

7.2.3 Котли – утилізатори

Ці котли призначені для використання теплових відходів технологічних процесів (відхідні технологічні гази, шлаки й ін.) Ці котли працюють без топкових камер, тобто без спалювання палива.

Котли-утилізатори підрозділяють:

- у залежності від способу передачі теплоти в котлах (радіаційні, конвективні);

- по конструкції: газотрубні і водотрубні (у газотрубних продукти горіння проходять по трубах, які розміщуються у водномуоб'ємі котла; у водотрубних – газ омиває труби з водою);
- по компонованню і конструктивним особливостям: вертикальні, горизонтальні, баштові, П-образні, Т-образні і ін.;
- по організації циркуляції води: із природною циркуляцією, примусовою і прямоточні.

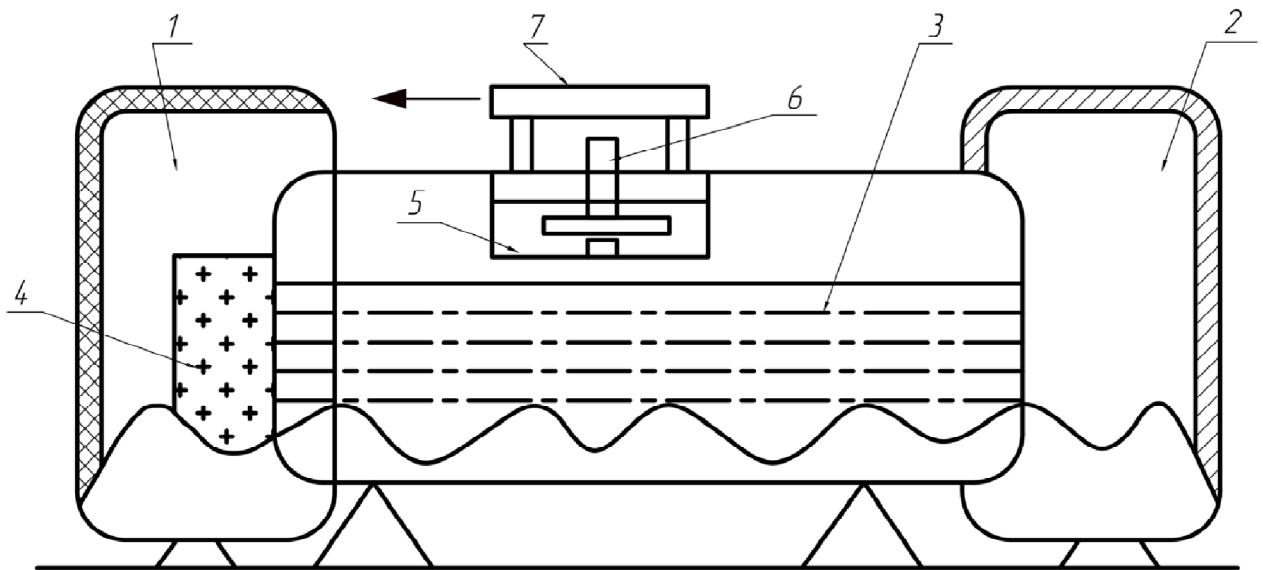
Основним теплотехнічним параметром цих котлів є температура гріючих газів на вході в котел. У залежності від значення цієї температури всі котли-утилізатори підрозділяються на дві групи:

- низькотемпературні ($t_r < 1100 \dots 1200 \text{K}$). Передача тепла здійснюється за рахунок конвекції;
- високотемпературні ($t_r > 1400 \dots 1500 \text{K}$). Передача тепла здійснюється за рахунок випромінювання.

Котли позначаються в такий спосіб:

Г-250 П (Г – горизонтальний; 250 – площа поверхні нагрівання, м^2 ; П – з пароперегрівником).

Схема котла-утилізатора Г-250 П представлена на *рис. 7.7*



1 – вхідна газова камера; 2 – вихідна газова камера; 3 – випарна система; 4 – пароперегрівник; 5 – сепаратійний пристрій; 6 – підведення води в котел; 7 – відведення насиченої пари

Рисунок 7.7 – Схема котла-утилізатора Г – 250 П

Котел працює в такий спосіб. Відхідні технологічні гази надходять у камеру 1, омивають горизонтально розташовані трубки пароперегрівника 4 і далі по трубках 3 проходить через водний об'єм котла. При цьому у водномуоб'ємі утворюється пара. Для відділення крапельок води від пари

служить сепарацийний пристрій 5. Далі насичена пара надходить у пароперегрівник 4, на виході з якого одержуємо слабоперегріту пару з параметрами: $P_{п} = 1,5 \dots 2,0 \text{ МПа}$; $t_{п,п} = 240 \dots 250 \text{ }^\circ\text{C}$.

Перевага котлів: простота конструкції, не потрібно спеціальне обмуровування, транспортабельність.

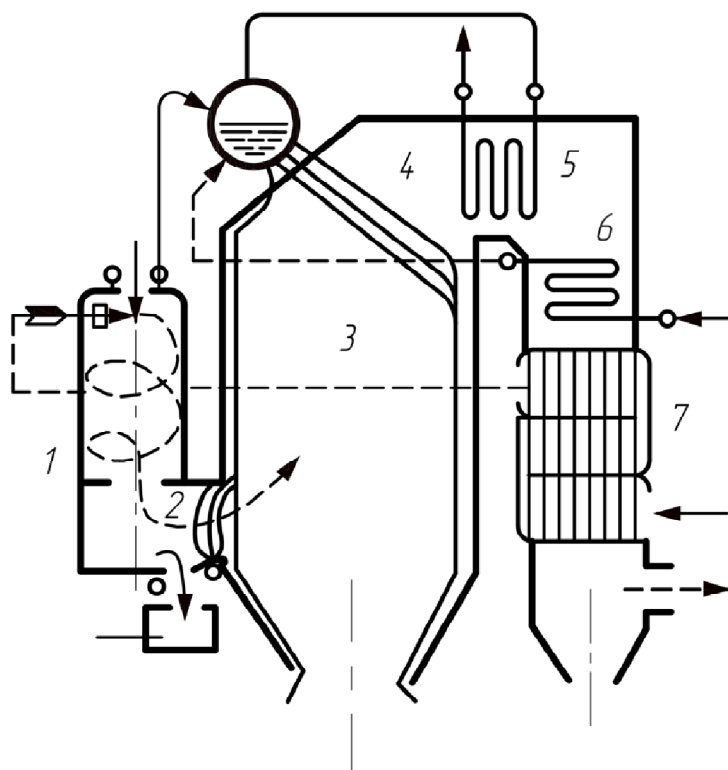
Недоліки котлів: обмеження по тиску пари, що виробляється, обмежена витрата технологічних газів на такий котел ($V_{г} = 30000 \dots 40000 \text{ м}^3/\text{год}$).

Якщо котли-утилізатори не зв'язані з технологічним процесом, то в енерготехнологічних агрегатах (ЕТА) енергетична частина (одержання пари) нерозривно зв'язана з технологічним процесом.

Розглянемо приклад ЕТА стосовно до циклонного плавильного процесу.

7.2.4 Енерготехнологічні агрегати (ЕТА)

На *рисунку 7.8* показана схема енерготехнологічного агрегату, розроблена стосовно до плавильних циклонних процесів.



1 – циклонна камера; 2 – сепаратор розплаву; 3 – камера радіаційного охолодження газів; 4 – фестон; 5 – пароперегрівач; 6 – водяний економайзер; 7 – повітропідігрівач; 8 – пристрій для додаткової обробки розплаву

Рисунок 7.8 – Схема енерготехнологічного циклонного агрегату

Агрегат складається з циклонної плавильної камери 1 з гарнісажною футерівкою, де здійснюється (цілком або частково) той або інший технологічний процес, камери радіаційного охолодження газів і віднесення інших тепловикористовуючих елементів. У конкретних умовах окремі елементи ЕТА можуть бути відсутні або мати відповідну конструктивну форму і компонування. *Наприклад*, циклонна камера може бути з нижнім (як показано на схемі) і з верхнім видаленням газів. Можуть бути пристрої для додаткової обробки розплаву, який виходить з циклону.

Особливістю ЕТАє те, що технологічний процес нерозривно пов'язаний з одержанням пари.

Контрольні питання до теми 7.2

1. Поясніть принцип роботи водогрійних котлів.
2. У чому полягає призначення парогазової установки?
3. Яке основне призначення котлів-утилізаторів? Опишіть схему роботи котла Г – 250 П.
4. Опишіть схему та поясніть принцип дії енерготехнологічного агрегату.

РОЗДІЛ 8

ПИТАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОТЛІВ

Тема 8.1 Корозія металів і її типи

Корозія – це руйнування металу в результаті хімічного або електрохімічного впливу навколишнього середовища.

Корозія буває загальна і місцева, високотемпературна і низькотемпературна.

У свою чергу місцева підрозділяється на:

- крапкову;
- виразкову;
- міжкристалітну;
- вибіркову.

Прикладом загальної високотемпературної корозії є утворення окисної плівки (окалини) на зовнішніх поверхнях труб випарної системи. Наявність окислів сірки в продуктах згоряння прискорює процес високотемпературної корозії.

Велику небезпеку для котлів представляє місцева виразкова корозія. Вона відбувається усередині труб під дією CO_2 і O_2 при незадовільній деаерації. Наслідок – утворення свищів. Найбільшого ступеня цієї корозії піддаються вхідні ділянки економайзера.

Низькотемпературній корозії піддаються вихідні ділянки повітропідігрівника. Це пов'язано з явищем конденсації водяних парів, які утримуються в продуктах згоряння палива.

При зниженні температури продуктів згоряння нижче точки роси на поверхнях нагрівання утворюється рідка плівка електроліту, що приводить до руйнування цих поверхонь. Наприклад, для продуктів згоряння природного газу точка роси складає $54...55^\circ\text{C}$, однак наявність окислів сірки підвищує цю температуру до 110°C .

8.1.1 Стояночна корозія

Цей вид корозії пов'язаний із простоями котлів, наприклад, при виведенні їх у резерв або при тривалих зупинках. Резерв буває гарячий і холодний. **Угарячому** – котли знаходяться під тиском із працюючою топкою. **Ухолодному резерві** топка не працює. У цьому випадку падає тиск у барабані й у нього проникає повітря, а це приводить до кисневої корозії. Тому необхідна консервація котлів при тривалих зупинках. Застосовують два способи консервації: сухий і мокрий. При сухому способі котли звільняють від води, просушують поверхні гарячим повітрям і поміщають у барабан осушуючі листи з осушаючим матеріалом (хлористий кальцій, силікагель, негашене вапно).

При мокрому способі котли заповнюють деаерованою водою і підтримують у котлах надлишковий тиск ($p = 0,3 \dots 0,4 \text{ МПа}$).

8.1.2 Тепловий стан труб повітропідігрівника

Складемо рівняння теплового балансу для стінки труби.

$$\alpha_2 \cdot (t_2 - t_{cm}) = \alpha_n \cdot (t_{cm} - t_n),$$

де α_2 - коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки; α_n - коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря.

$$t_{cm} \cdot (\alpha_n + \alpha_2) = \alpha_2 \cdot t_2 + \alpha_n \cdot t_n + \alpha_2 \cdot t_n - \alpha_2 \cdot t_n = t_n \cdot (\alpha_n + \alpha_2) + \alpha_2 \cdot (t_2 - t_n)$$

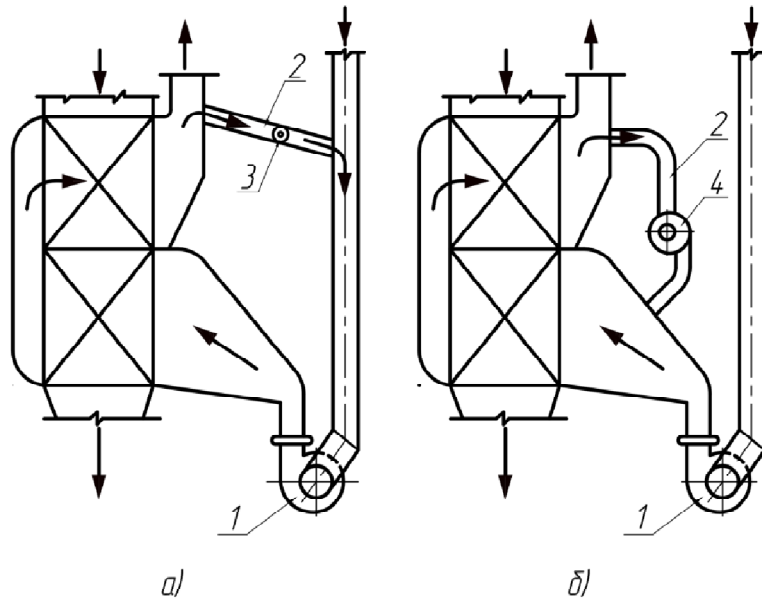
$$t_{cm} = t_n + \frac{\alpha_2 \cdot (t_2 - t_n)}{\alpha_n + \alpha_2} = t_n + \frac{t_2 - t_n}{1 + \alpha_n / \alpha_2}.$$

З кінцевої формули випливає, що температуру стінки труби можна підвищити шляхом зменшення α_n , або підвищенням t_n (температура повітря на вході в повітропідігрівник). Перший шлях неприйнятний, тому що пов'язаний зі зниженням швидкості руху повітря в повітропідігрівнику і зі збільшенням поверхні нагрівання елемента. Тому на практиці застосовують підвищення температури повітря на вході в повітропідігрівник, наприклад, з використанням попереднього нагрівання в калориферах або шляхом рециркуляції гарячого повітря.

Схема підвищення температури повітря, яка надходить у повітропідігрівник, із застосуванням рециркуляції представлена на **рисунку 8.1**. Схема підігріву повітря, яка надходить у повітропідігрівник, у паровому калорифері представлена на **рисунку 8.2**.

На **рисунку 8.1** частина гарячого повітря повертається через короб рециркуляції 2 на всасувальний вентилятор 1. Кількість рециркулюючого повітря регулюється за допомогою шибера 3. Недоліком цієї схеми є підвищена витрата електроенергії на привод вентилятора і збільшення температури відхідних газів.

На **рисунку 8.2** для підігріву повітря застосовують паруву температуру до $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Цій схемі віддають перевагу, тому що тут менша витрата електроенергії на привод вентилятора, крім того тут забезпечується захист повітропідігрівника на пускових режимах. Можна також застосовувати трубки з корозійостійких матеріалів (керамічні, емальовані, скляні).



а – регулюванням шибером на відведенні гарячого повітря; *б* – подача гарячого повітря на вхід повітропідігрівача спеціальним вентилятором; 1 – дуттьовий вентилятор; 2 – короб рециркуляції; 3 – шибер; 4 – вентилятор для подачі гарячого повітря

Рисунок 8.1 – Схеми підвищення температури повітря, яке поступає в повітропідігрівач, із застосуванням рециркуляції

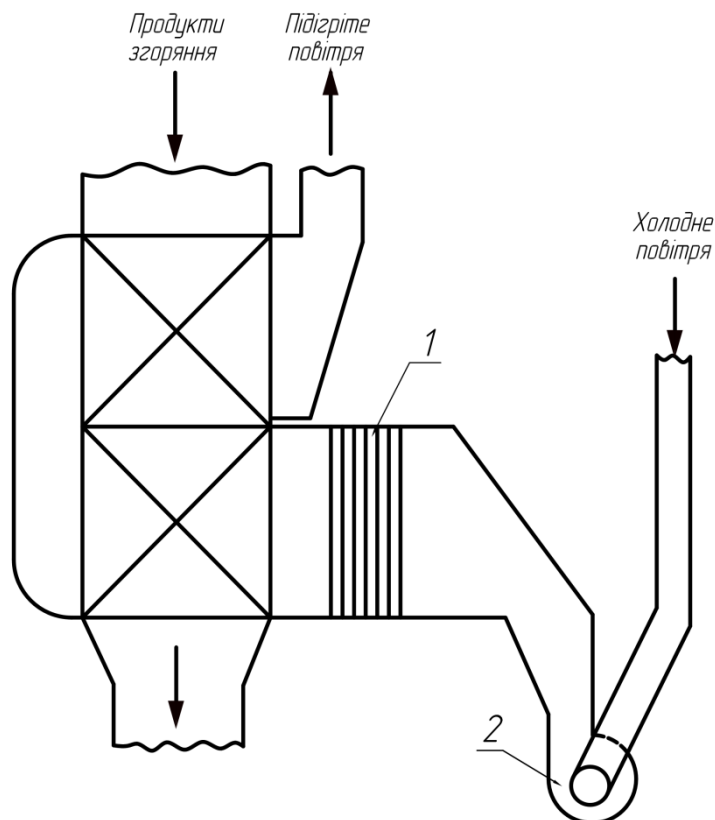


Рисунок 8.2 – Схема підігріву повітря, яке надходить в повітропідігрівач, в паровому калорифері

8.1.3 Золовловлювання

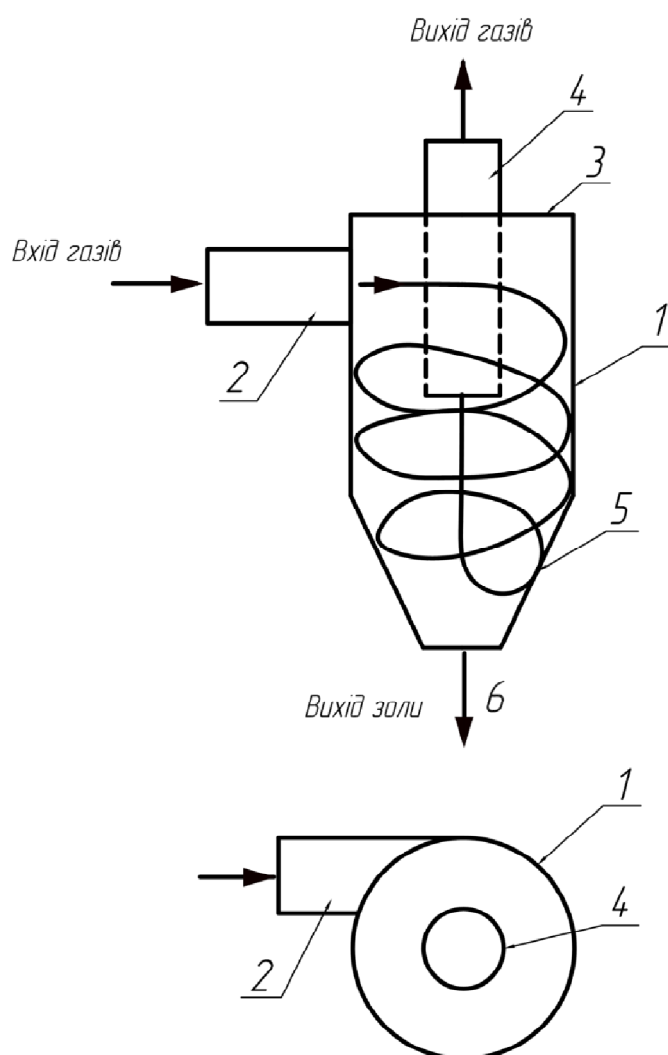
Золовловлювання характеризується коефіцієнтом очищення ($\eta_{оч.}$)

$$\eta_{оч.} = \frac{G_{ул.}}{G_{вх.}} \cdot 100 \quad \%,$$

де $G_{ул.}$ - кількість твердих часток, уловлених у золовловлювачі; $G_{вх.}$ - кількість часток на вході в золовловлювач.

Найбільше поширення одержали циклонні золовловлювачі.

Схема циклона представлена на **рисунку 8.3**.



1 – корпус циклону; 2 – вхідний патрубков; 3 – кришка; 4 – вихідний патрубков; 5 – конусна частина корпусу

Рисунок 8.3 – Схема роботи циклону

Золовловлювач складається з циліндричного корпусу і конічної нижньої частини. Запилений потік подається на вхід тангенціально (по дотичній, внутрішній утворюючій корпусу). При цьому відбувається закручування цього

поток, причому під дією відцентрових сил частки золи відкидаються до стінок циклонів і збираються в нижній частині. Очищені гази по центральній трубі відводяться з циклону. Коефіцієнт очищення в таких циклонах складає до 70%.

Ефективність очищення в циклоні визначається відцентровими силами:

$$F_{\text{вц}} = \frac{m \cdot W^2}{r_{\text{ц}}},$$

де m - маса частки; W – швидкість потоку; $r_{\text{ц}}$ - радіус циклона.

На практиці циклони поєднують у батареї, однак, дрібні частки золи в таких циклонах не уловлюються і несуться газом потоком. Більш високий коефіцієнт очищення досягається в електрофільтрах, у яких використовується явище коронного розряду. На практиці застосовують комбіновані циклони з електрофільтром, які дозволяють підвищити коефіцієнт очищення до 98 %, залишок у виді летучої золи розсіюється в навколишнє середовище.

Контрольні питання до теми 8.1

1. Дайте визначення корозії. Яких видів буває корозія?
2. Чим викликана стояночна корозія?
3. Які заходи застосовують для підвищення температури повітря на вході в повітропідігрівник?
4. Поясніть процес золовловлення й опишіть схему роботи циклону.

Тема 8.2 Зовнішні забруднення поверхонь нагрівання. Умови роботи металу котлів.

8.2.1 Зовнішні забруднення поверхонь нагрівання

У процесі роботи котла виникає забруднення зовнішніх поверхонь нагрівання. На екранах і ширмах топки, яка працює на пилоподібному твердому паливі, можливі відкладення шлаку. Ці відкладення утворюються при температурі газів на виході з топки, більш високій, ніж температура розм'якшення золи, а також у високотемпературних зонах топки при незадовільній аеродинамічній організації топкового процесу в тих випадках, коли розплавлені частки золи, які не встигають остудитися і затвердіти, накидаються потоком газів на стінки топок і труби екранів. Звичайне шлакування починається в проміжках між екранними трубами, а також у застійних зонах і ділянках топки. Якщо температура топкового середовища в зоні утворення шлакових відкладень нижча температури початку деформації золи t_1 , то зовнішній шар шлаку складається із затверділих часток. При підвищенні температури зовнішній шар шлаку може оплавлятися, що сприяє налипанню нових часток і прогресуючому шлакуванню.

Шлакування зменшує теплосприйняття поверхонь нагрівання, розташованих у топці, і підвищує температуру продуктів згоряння на виході з топки, що може призвести до порушення нормального гідродинамічного режиму роботи екранів і ширм. В області пароперегрівника, якщо температура газів нижче t_l , мають місце ущільнені відкладення твердих часток золи.

В економайзері утворюються пухкі сипучі відкладення дрібних фракцій золи, причому ріст забруднюючого шару супроводжується руйнуванням його більш великими частками, у результаті чого встановлюються динамічна рівновага і сталий стан забруднюючого шару.

Зольність палива не впливає на товщину забруднень. По досягненні визначеної товщини забруднень зола більше не осаджується на забруднених трубах. Товщина липких забруднень в області низьких температур залежить від A^p і характеристик золи, і прогресує в часі. Унаслідок забруднення конвективних поверхонь нагрівання погіршуються умови теплопередачі і підвищуються їхні аеродинамічні опори. У результаті підвищується температура відхідних газів збільшуються втрати і витрата електроенергії на тягу.

Під коефіцієнтом забруднення розуміють термічний опір шару відкладень

$$\varepsilon = \frac{\delta_g}{\lambda_g},$$

де δ_g - товщина шару відкладень, м; λ_g - теплопровідність шару відкладаень, Вт/(м·°С).

ε залежить від швидкості потоку, діаметра труб, що обтікаються і їхнього розташування в пучці. Для коридорного розташування ε завжди вище, ніж для шахового.

Відкладення призводять до зниження коефіцієнта теплопередачі в поверхнях нагрівання і підвищенню температури відхідних газів тобто зменшується к.к.д. котла.

8.2.2 Очищення поверхонь нагрівання

Існує три основних способи очищення зовнішніх поверхонь нагрівання:

- 1) обдування;
- 2) віброочистка;
- 3) дробуочистка.

Обдування може проводитися парою, водою, пароводяною сумішшю і повітрям.

Найбільш ефективно обдування водою, тому що водяний струмінь має найбільшу далекобійність і термічний ефект. На практиці застосовують парове обдування, що створює достатній динамічний напір струменя.

Динамічний напір для пари:

$$H = \frac{W_l^2}{2 \cdot \varrho_n},$$

де W_l^2 - осьова швидкість; ϱ_n - питомий об'єм пари.

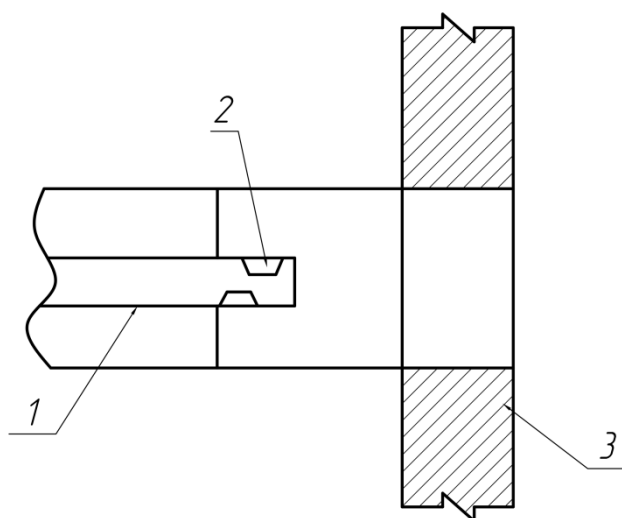
При тиску пари 4 МПа на відстані 3 м від виходу струменя, динамічний напір буде дорівнювати $2000 \text{ Па} < H_{l=3 \text{ м}} > 2000 \text{ Па}$.

Для видалення сипучих відкладень досить мати тиск $H_{ек} = 200 \dots 250 \text{ Па}$.

Для видалення щільних відкладень $H_{н.н} = 400 \dots 500 \text{ Па}$.

Для видалення шлакових наростів $H_m = 2000 \text{ Па}$.

Схема пристрою для парового обдування представлена на **риунку 8.4**.



1 – обдувочна голівка; 2 – сопла; 3 – обмурівка котла

Рисунок 8.4 – Схема пристрою для парової обдувки

Пристрій працює в такий спосіб. За допомогою висувної штанги голівка висувається в топку й одночасно починає обертатися. У цей час відкривається паровий клапан і пара подається до сопел (двом діаметрально розташованим).

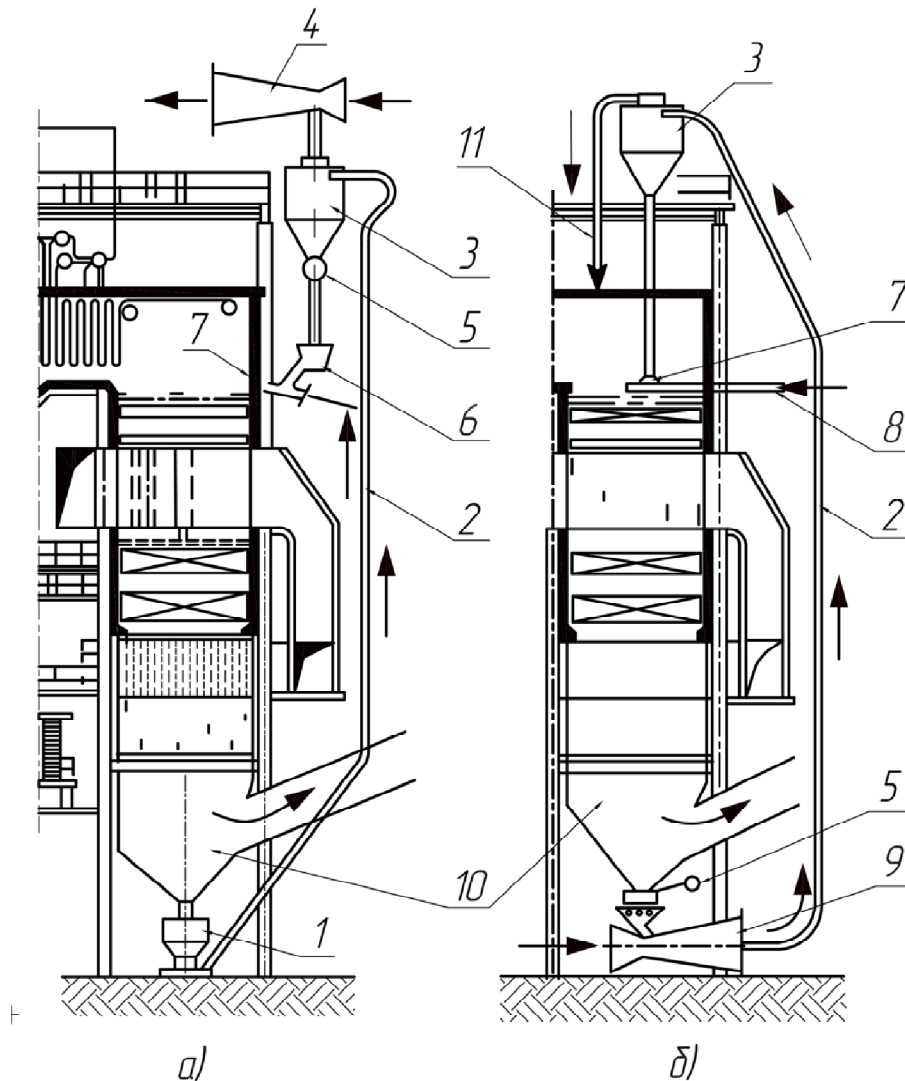
Віброочистка застосовується для ширмових і вертикальних конвективних перегрівників.

8.2.3 Дробуочистка

Схеми дробуочистних установок представлені на **рисунку 8.5**.

Очищення проводиться за рахунок кінетичної енергії падаючих чавунних дробинок $d = 3 \dots 5 \text{ мм}$. Схема дробуочистки працює під розрідженням, що створюється ежектором 4. Дріб рівномірно розподіляється по перетину газоходу за допомогою розкидача 7. Дробинки збивають відкладення з труб і збираються в нижній частині опускної шахти, у бункері 1, звідкіля разом із золою по трубопроводу 2 попадають у циклон-дробууловлювач 3. У циклоні

відбувається відділення золи від дробу і далі дріб попадає в живильник 6, з якого подається в розкидач 7 і т.д.



а – установка під розрідженням з пневматичним закидачем дробу; *б* – установка під тиском з верхнім накладачем дробу; 1 – бункер для дробу; 2 – трубопровід для подачі дробу; 3 – дробууловлювач-циклон; 4 – ежектор; 5 – автоматичний клапан-мигавка; 6 – тарілковий живильник; 7 – розкидач дробу; 8 – підведення і відведення від розкидача охолоджуючої води; 9 – інжектор; 10 – вихід продуктів згоряння; 11 – вихід повітря з пиловловлювача

Рисунок 8.5 - Схеми дробуочисних споруд

8.2.4 Механічні властивості металів

Метал котлів знаходиться в умовах підвищеного тиску, підвищеної температури і впливу агресивних середовищ. При цьому в процесі експлуатації котла змінюється як структура металу, так і його механічні властивості, що може призвести до руйнування конструктивних елементів.

Механічні властивості металів визначають шляхом іспиту, результати якого представлені у вигляді діаграми $\sigma - \varepsilon$, де σ - внутрішні напруження в металі, а ε - деформація металу.

Пружні властивості металу зберігаються тільки до визначеної напруги σ_A . Починаючи з точки А, виявляються пластичні властивості металу, тобто після зняття навантаження залишаються залишкові деформації. Напруга, що відповідає точці В, називається межею текучості і позначається $\sigma_{0,2}$ - це напруга, при якій залишкова деформація складає 0,2 %.

Точці С відповідає межа міцності σ_b , тобто тамаксимальна напруга, що витримує зразок до руйнування. Підвищення температури знижує механічні властивості (рисунки 8.6).

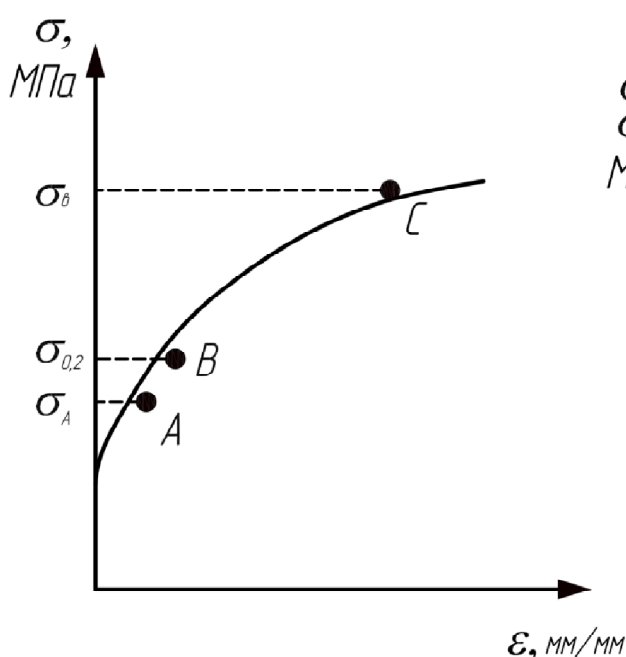


Рисунок 8.6 – Залежність внутрішніх напружень в металі від деформації

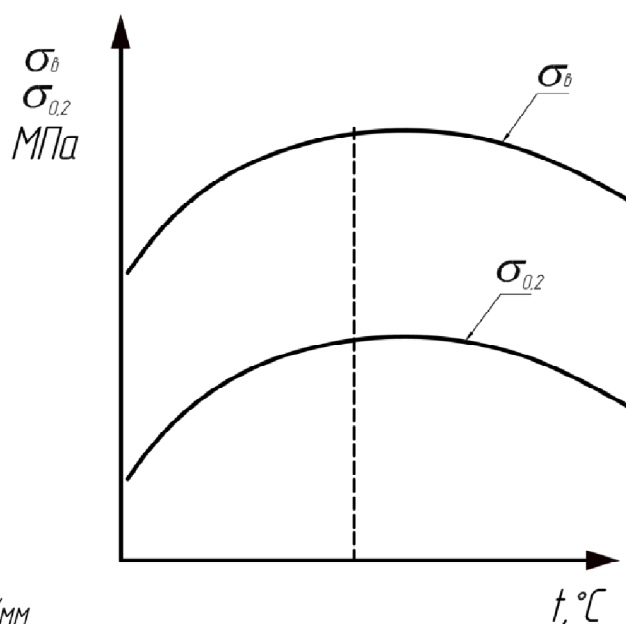
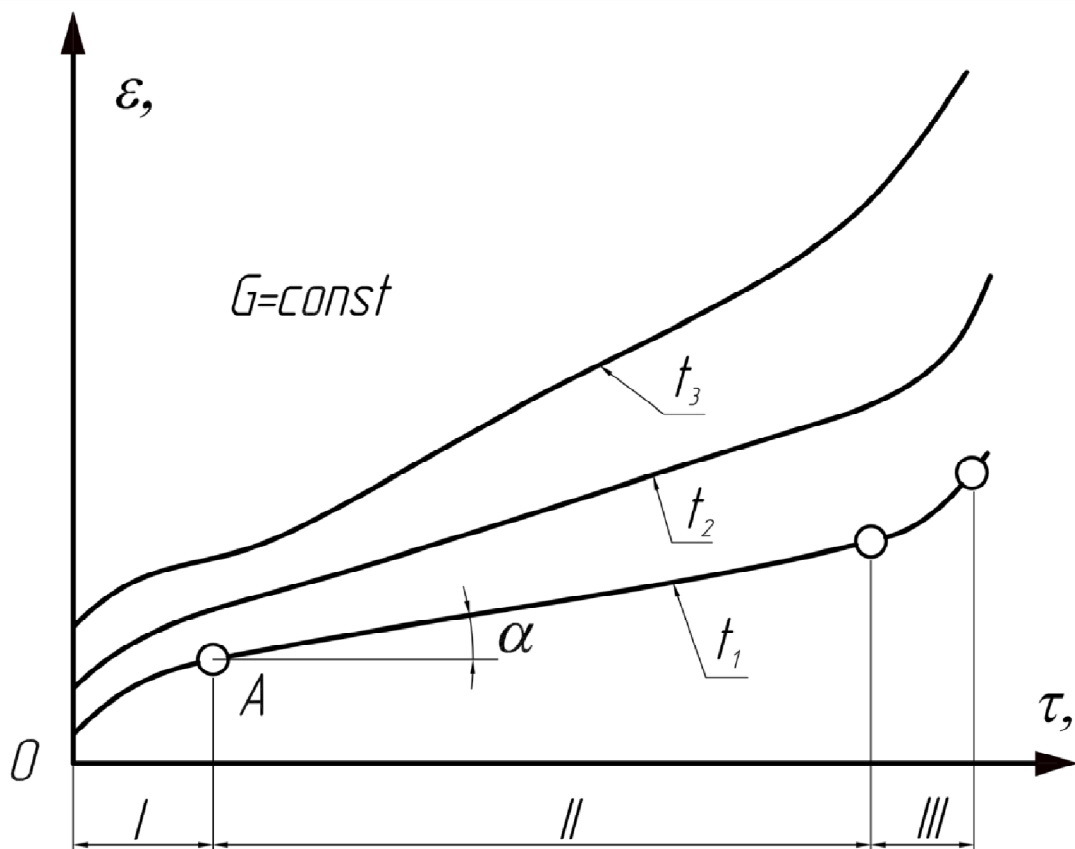


Рисунок 8.7 – Вплив температури на механічні властивості сталі

Із **рисунку 8.7** видно, що межа міцності досягає максимуму приблизно при $t = 250^\circ\text{C}$ і далі знижується. Межа текучості зростом температури безупинно зменшується, причому найбільш різке зниження після 250°C .

Повзучість – це явище нагромадження пластичних деформацій при температурах вище 450°C , але при напругах нижче межі текучості. Це явище виявляється при тривалій експлуатації котла.

Діаграма повзучості сталі в залежності від температури при постійній нарузі представлена на **рисунку 8.8**.



I – період зміцнення металу; II – період повзучості, яка вже встановилася при незмінній її швидкості; III – період нарощення повзучості

Рисунок 8.8 – Діаграма повзучості сталі в залежності від температури при постійній нарузі

З графіка видно, що можна виділити три ділянки з різною швидкістю повзучості. На ділянці I швидкість повзучості збільшується; на ділянці II швидкість повзучості постійна; на ділянці III швидкість збільшується до руйнування конструкції в точці С. Ділянка АВ є основною і на ній визначається межа повзучості σ_n , тобто така напруга, що забезпечує при даній температурі експлуатації припустиму швидкість повзучості. Для котлів – 1 % за 100 тис. годин роботи.

У котлах використовують вуглицеві і леговані марки сталі. Вуглицеві сталі звичайно позначають: 10 К; 12 К; 18 К, де К – котельна сталь, а цифра показує вміст вуглецю в сотих частках відсотка: 0,10 %; 0,12 %; 0,18 %.

Вуглецеві сталі застосовують при температурі металу менше 450 °С.

Леговані сталі – це сталі, у яких відбувається добавка легуючих елементів. У якості легуючих добавок використовуються: Х – хром; Н – нікель; М – молібден; С – кремній; Т – титан; Г – марганець.

При маркіруванні легованих сталей застосовують буквенно-цифрову систему, де букви позначають легований елемент, а цифри за буквами - вміст цих елементів у %. Причому цифри застосовують тоді, коли вміст елемента більш 1 %.

Наприклад: 12Х18Н9Т (0,12 % - вуглецю; 18 % - хрому; 9 % - нікелю; титана – менш 1 %).

Добавки хрому понад 10 % підвищують жаростійкість сталі, тобто здатність сталі протистояти окалиноутворенню. Добавки молібдену підвищують жароміцність сталі, тобто здатність сталі протистояти механічним навантаженням при підвищеній температурі.

8.2.5 Умови роботи металу елементів котла

Метал барабанів знаходиться під дією підвищеного тиску і температури, при чому, чим вище тиск, тим складніше умови роботи металу. При цьому для барабана застосовують низьколеговані сталі (вміст легуючих добавок менш 4 %). Середньолеговані сталі – вміст добавок 4...10%; низьколегована сталь – добавок більше 10 %.

При експлуатації котлів необхідно враховувати появу температурних напружень унаслідок невеликого розширення як барабана, так і екранних труб.

Подовження Δl труб при їхньому нагріванні можна розрахувати по формулі:

$$\Delta l = a \cdot \frac{t_{cp}}{100} \cdot L,$$

де a – коефіцієнт лінійного розширення ($a = 0,12$ мм/м - для вуглицевих сталей; $a = 0,18$ мм/м – для легуваних сталей на кожні 100 °С приросту температур); t_{cp} – приймається рівній температурі насичення для екранних труб, а для труб пароперегрівника приймається рівній середній температурі середовища, яке протікає; L - первісна довжина труб.

Для забезпечення вільного розширення барабана його опори виконують роликівими, а підвіски на шарнірах. Для контролю переміщень на котлах встановлюють реperi (покажчики).

Метал пароперегрівників знаходиться в найбільш несприятливих умовах. Особливо небезпечні перекося для металу пароперегрівників: газовий і паровий.

Газовий виникає внаслідок нерівномірного температурного поля по ширині газоходу, що є наслідком температурного перекося в топці котла.

Паровий перекося виникає внаслідок різного гідравлічного опору по парі, а накладення парового і газового перекося приводить до перегріву окремих труб пароперегрівника і їхньому руйнуванню.

Нерівномірність розподілу температури по трубах пароперегрівника **називається тепловим розгорненням**.

Для металу труб економайзерів безпеку представляє нерівномірний розподіл води по окремих змійовиках, а також розморожування труб.

Для повітропідігрівників безпеку представляє витік повітря в продукти згорання. Це може привести до загорання відкладень на трубах.

Контрольні питання до теми 8.2

1. Назвіть зовнішні забруднення поверхонь нагрівання всіх елементів котла.
2. Як проводиться очищення поверхонь нагрівання?
3. Поясніть схему пристрою для парового обдування.
4. Поясніть принцип дії дробуочистки.
5. Які механічні властивості металів ви знаєте?
6. Перелічіть й аргументуйте умови роботи металу елементів котла.

Тема 8.3 Експлуатація котельних агрегатів (тема для самостійного опрацювання)

8.3.1 Порушення циркуляції пароводяної суміші у випарній системі

При експлуатації котлів доводиться зіштовхуватися з порушенням циркуляції пароводяної суміші у випарній системі:

- перекидання циркуляції;
- поява вільного об'єму в трубах;
- розшарування пароводяної суміші.

Перекидання означає, що опускні труби починають працювати як підйомні.

Поява вільного об'єму виникає в підйомних трубах, виведених у паровий об'єм барабана при недостатньому рушійному напорі циркуляції.

Розшарування пароводяної суміші виникає на ділянках труб з невеликим кутом нахилу до горизонту, при цьому вода омиває нижню поверхню труби, а пара – верхню.

Порушення циркуляції приводить до перегріву металу труб.

Заходи щодо запобігання перекидання циркуляції

- 1) Забезпечення рівномірного обігріву підйомних труб.
- 2) Недопущення потрапляння опускних труб у зону обігріву.
- 3) Не допускати потрапляння пари в опускні труби.
- 4) Не допускати внутрішніх відкладень у трубах.

Спінювання води в барабані

Причиною є потрапляння масла в котлову воду і передозування реагентів для внутрікотлової обробки води (сода). Спінювання приводить до забросу котлової води в пароперегрівник.

Упущення рівня води в барабані

Рівень води в барабані необхідно підтримувати постійним, інакше відбудеться вибух.

8.3.2 Підготовка і пуск у роботу котлоагрегату

Експлуатація котлів повинна забезпечувати надійне й економічне вироблення пари необхідних параметрів і безпечні умови праці персоналу. Вона повинна вестися по виробничих завданнях, складеним виходячи з плану і графіка вироблення пари, витрати палива, витрати електроенергії на власні потреби.

Експлуатація котлів розділяється на періоди:

- підготовка і пуск у роботу;
- обслуговування під час роботи;
- останов працюючого агрегату;
- утримання у неробочому стані;
- ремонт агрегату.

Порядок пуску і зупинка котла встановлюється інструкцією. Перед розпалюванням роблять зовнішній огляд котла, щоб переконатися в справності всіх елементів устаткування і готовності до пуску.

Перед розпалюванням усі повітряні крани повинні бути відкриті, а всі продувні і спускні пристрої – закриті, за винятком вентилів для продувки котла і системи рециркуляції води у водяному економайзері. Наповнення котла проводиться живильною деаерованою водою з температурою на початку заповнення 60...70 °С і в кінці – не вище 100 °С. Нерівномірний прогрів барабана котла при швидкому заповненні його гарячою водою може викликати небезпечні температурні напруги усередині його стінок.

Щоб уникнути виникнень великих внутрішніх напружень у металі барабана заповнення котла водою повинне проводитися при середньому тиску протягом 1...1,5 год. і при високому тиску протягом 1,5...2,5 год. Заповнювати котел водою слід до нижчої відмітки водовказівного скла, тому що при початку випару рівень її підвищується. Газоходи котла перед розпалюванням повинні бути провентильовані протягом 10...15 хвилин за рахунок природної тяги або включення в роботу димососа.

8.3.3 Обслуговування під час роботи

Ведення режиму роботи котла повинне проводитися персоналом по режимній карті, у якій вказують рекомендовані технологічні й економічні показники його роботи при різних навантаженнях: тиск і температура пари і живильної води, вміст RO_2 у газах, їх температури і розрідження по газовому тракту; коефіцієнти витрати повітря і його тиску по повітряному тракту й ін.

Необхідно стежити за справністю всього устаткування і не рідше 1 раз за зміну перевіряти справність дії манометрів, запобіжних клапанів і водовказівних приладів. Устаткування повинне підтримуватися чистим.

8.3.4 Зупинка котла

Зупинка котла відбувається за графіком у наступній послідовності:

- спрацьовується пилоподібне паливо в бункері, при шаровій топці припиняється подача палива і допалюються залишки його на ґратах, відключається подача газу до пальників і мазуту у форсунки;
- після припинення горіння в топці відключають котел від парової магістралі і відкривають продувку пароперегрівника на 40...50 хв.;
- повільно протягом 4...6 годин розхолоджують котел, після цього роблять вентиляцію газоходів за допомогою природної тяги, а також продувку котла;
- через 8...10 год. після зупинки повторюють продувку і при необхідності прискорити охолодження пускають димосос;
- через 18...24 год. після зупинки при температурі води 70...80 °С допускається повільний спуск її з котла. У період зупинки проводиться спостереження за рівнем води в барабані і підживлення водою котла.

При аварійній зупинці котел повинний бути негайно відключений від парової магістралі. При необхідності зупинки котла на тривалий термін – більше 10 діб він повинний бути захищений від корозії, що виникає унаслідок впливу кисню і вологи повітря.

8.3.5 Ремонт котла

У процесі роботи відбувається нерівномірний знос елементів і частин котла, унаслідок чого необхідно систематично робити його ремонт. Капітальний ремонт повинний проводитися через кожні 2...3 року, а поточний – через кожні 1...2 року. В міру удосконалювання устаткування і його експлуатації проміжок часу між ремонтами збільшується.

Основними задачами ремонту котла і його допоміжного устаткування є:

- усунення причин, що викликають аварії або неполадки;
- зміна зношених деталей або відновлення ушкоджених деталей;
- проведення заходів щодо підвищення надійності й економічності роботи агрегату і збільшенню терміну служби деталей і механізмів.

Усі ремонтні роботи повинні виконуватися у відповідності зі спеціальними інструкціями і вказівками.

8.3.6 Нагляд за котлами

Нагляд за котлами з метою запобігання аварій здійснюється Держміськтехнаглядом шляхом їхнього огляду у встановлений термін.

Роблять тривиди огляду:

- зовнішній огляд;
- внутрішній огляд;
- гідравлічні іспити.

Зовнішній огляд здійснюється інспекторами без зупинки котла не рідше 1 разу на рік. При зовнішньому огляді обстежується загальний стан агрегату і приміщення, у якому він встановлений, звертається увага на стан обмуровування

топки, паропроводів, арматуру й ін. Контролюється знання персоналом правил технічної експлуатації й інструкцій.

Внутрішній огляд проводиться не рідше 1 разу на 4 роки. Крім загальногостану устаткування і його експлуатації, перевіряються стан стінок барабанів і поверхонь нагрівання, щільність газоходів і ін.

Гідравлічний іспит парогенератора проводиться 1 раз у 8 років. Перед гідравлічним іспитом робиться внутрішній огляд котла й оголюються від ізоляції усі шви барабанів, колекторів, штуцерів, фланців і т.п.

Результати огляду котла заносяться в його паспорт, у якому повинно бути опис агрегату, його креслення, заводські акти, результати іспитів і дані заводу на основні елементи агрегату. При незадовільному стані агрегату інспектор Держміськтехнагляду має право заборонити його подальшу експлуатацію.

Контрольні питання до теми 8.3

1. Які порушення циркуляції пароводяної суміші виникають у випарній системі котла?
2. Перелічте заходи, які необхідно проводити для запобігання перекидання циркуляції.
3. Які фактори є причиною спінення й упущення рівня води в барабані?
4. Як проводиться підготовка і пуск у роботу котла?
5. Як проводиться обслуговування котла під час роботи?
6. Які заходи проводяться при зупинці котла?
7. Які види ремонтів ви знаєте? Розповісти про них.
8. З якою метою здійснюється нагляд за котлами?

ПЕРЕЛІК ОСНОВНОЇ ТА ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

ОСНОВНА

1. Сидельковский Л.Н., Юренев В.А. Парогенераторы промышленных предприятий. -М.: Энергия, 1978-336с.
2. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы. Учебное пособие. — Красноярск: КГТУ, 2005. — 292 с.
3. Вафин Д.Б. Котельные установки и парогенераторы. Учебное пособие. — 2-е изд., доп. — Казань: Школа, 2016. — 288 с.
4. Губарев А.В. Паротеплогенерирующие установки промышленных предприятий. Учебное пособие. – Белгород: Изд-во БГТУ им.В.Г. Шухова, 2013. – 240 с.
5. Жуков Н.П., Майникова Н.Ф., Попов О.Н. Котельные установки. Паровые котлы. Тамбов: ТГТУ, 2013. — 80 с.
6. Соколов Б. А. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для нач. проф. образования / Б. А. Соколов. — 6-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2011. — 432 с.
7. Липов Ю. М., Третьяков Ю. М. Котельные установки и парогенераторы. - Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 592 с.
8. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов М.: Издательство МЭИ, 2003. – 326 с.
9. Лифшиц О. В. Справочник по водоподготовке котельных установок: справочное издание / О. В. Лифшиц .— 2-изд., перераб. и доп., репр. — Репр. изд. — Москва : ЭКОЛИТ, 2014 .— 288 с.

ДОДАТКОВА

1. Болштянский А.П, Михайлов А.Г. Тепловой расчёт котельных установок Учеб. пособие – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 94 с.
2. Теловой расчет промышленных парогенераторов. – Под ред. В.И.Частухина.- Киев: Вища школа, 1980.-184с.
3. Безгрешнов А.Н., Липов Ю.М., Шлейфер П.М. Расчет паровых котлов в примерах и задачах.- Энергоатомиздат,1991. – 241 с.

Конспект лекцій з дисципліни «Котельні установки промислових підприємств» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 144 – Теплоенергетика очної та заочної форм навчання

Укладач: кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики
Глущенко Олена Леонідівна

Підписано до друку 2019р. Формат А5 _____
Об'єм _____ д.а. Тираж 75 прим. Заказ № 1 _____
51918, м. Кам'янське,
вул. Дніпробудівська, 2