

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ім. адмірала МАКАРОВА
ХЕРСОНСЬКА ФІЛІЯ**

К.В. Луняка, Б.В. Димо, В.С. Корнієнко, Д.В. Коновалов

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
з дисципліни**

**ДЖЕРЕЛА ТА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ І КОМУНАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Спеціальність: 144 – «Теплоенергетика»



Херсон – 2019

УДК 629.12.06:628.84 (075)
ББК 31.3я73

АВТОРИ:

К.В. Луняка, д.т.н., професор (гл. 1, 2, гл. 3, розд. 3.1-3.3), Б.В. Димо (гл. 3, розд. 3.4, гл. 4, розд. 4.4-4.6), В.С. Корнієнко (гл. 5), Д.В. Коновалов (гл. 4, розд. 4.1-4.3).

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Б.Г.Тимошевський, д.т.н., професор, завідувач кафедри ДВЗ, установок та технічної експлуатації НУК ім. адмірала Макарова
М.І. Радченко, д.т.н., професор, завідувач кафедрою кондиціонування та рефрижерації Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
Д.О. Дмитрієв, д.т.н., професор кафедри транспортних систем і технічного сервісу Херсонського Національного технічного університету
С.А. Русанов, к.т.н., доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу Херсонського Національного технічного університету

*Рекомендовано вченою радою
Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова
(протокол № 7 від 27.06.2019 р.)*

Луняка К.В., Димо Б.В., Корнієнко В.С.,
Коновалов Д.В. Навчальний посібник з дисципліни
«Джерела та системи теплопостачання промислових і
комунальних об'єктів». – Херсон: Видавництво ХНТУ,
2019. – 101 с.

Д40

ISBN

Навчальний посібник призначений для вивчення курсу «Джерела та системи теплопостачання промислових і комунальних об'єктів» студентами спеціальності 144 – «Теплоенергетика». Наведений у посібнику матеріал дає студентам основні поняття предмету – джерела теплопостачання, теплові мережі, теплові пункти, споживачі теплоти. Засвоєння курсу планується шляхом вивчення цього посібнику з подальшим самостійним вивченням окремих питань, які потребують розширеного й поглибленого опрацювання.

**УДК 629.12.06:628.84 (075)
ББК 31.3я73**

© Луняка К.В., Димо Б.В.,
Корнієнко В.С., Коновалов Д.В. ©
НУК ім. адмірала Макарова, 2019.

ISBN

ВСТУП

Запропонований посібник з дисципліни «Джерела та системи теплопостачання промислових і комунальних об'єктів» призначений для вивчення курсу студентами, які набувають спеціальність «Теплоенергетика».

Курс «Джерела та системи теплопостачання промислових і комунальних об'єктів» відноситься до дисциплін професійної і практичної підготовки і включає лекції, практичні заняття і виконання курсової роботи.

Наведений у посібнику матеріал дає студентам основні поняття предмету – джерела теплопостачання, теплові мережі, теплові пункти, споживачі теплоти. Засвоєння курсу планується шляхом вивчення цього конспекту з подальшим самостійним вивченням окремих питань, які потребують розширеного й поглибленого опрацювання.

Вивченню даного предмету передують такі курси, як «Гідрогазодинаміка», «Технічна термодинаміка», «Тепломасообмін», «Топки та котельні установки ТЕС і промислових підприємств», в яких вивчаються теоретичні закономірності, що використовуються дисципліною «Джерела та системи теплопостачання промислових та комунальних об'єктів». Разом названі дисципліни є базою для курсового та дипломного проектування.

Сучасна вища освіта характеризується прагненням більшої сумісності та порівнянності систем вищої освіти національних шкіл.

Приєднання України до Болонського процесу вимагає впровадження європейської системи обміну (трансферу) та накопичення залікових балів (кредитів) – European Credit Transfer and Accumulation System (ECTS).

Згідно з європейською системою, курс «Джерела та системи теплопостачання промислових і комунальних об'єктів» складається з 6 кредитів ECTS і включає 4 змістових модулів. Успішна здача модулів (оцінки – “відмінно – А” та “добре – В, С”) звільняє студентів від здачі семестрового екзамену.

1. СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

1.1. Складові систем теплопостачання

Системою теплопостачання називають сукупність пристроїв для виробництва теплової енергії, її транспортування, розподілу й використання.

Основною задачею системи теплопостачання є забезпечення споживачів необхідною кількістю теплоносіїв заданих параметрів.

Основними елементами системи теплопостачання є (рис. 1.1):

1) **джерело теплоти**, яке виробляє теплову енергію, зазвичай у вигляді нагрітої води або пари. (В останній час значна частина споживачів користується електричною енергією для опалення та отримання гарячої води);

2) **теплові мережі**, призначені для транспортування теплоносія від джерела теплоти до теплових пунктів (споживача) і повернення використаного теплоносія до джерела теплоти. Теплові мережі зазвичай розміщуються поза будинками, але в окремих випадках можуть проходити усередині них;

3) **теплові пункти, або теплові підстанції**, призначені для розподілу, регулювання й обліку використання теплової енергії споживачами. Вони зв'язують технологічно місцеві системи споживання теплоти з тепловими мережами і джерелом теплоти. Можуть бути розташовані усередині або поза будинками;

4) **споживачі теплоти** – установки, що використовують теплоту, і розміщені в житлових, громадських та виробничих будівлях [3, 4, 9, 11, 13].

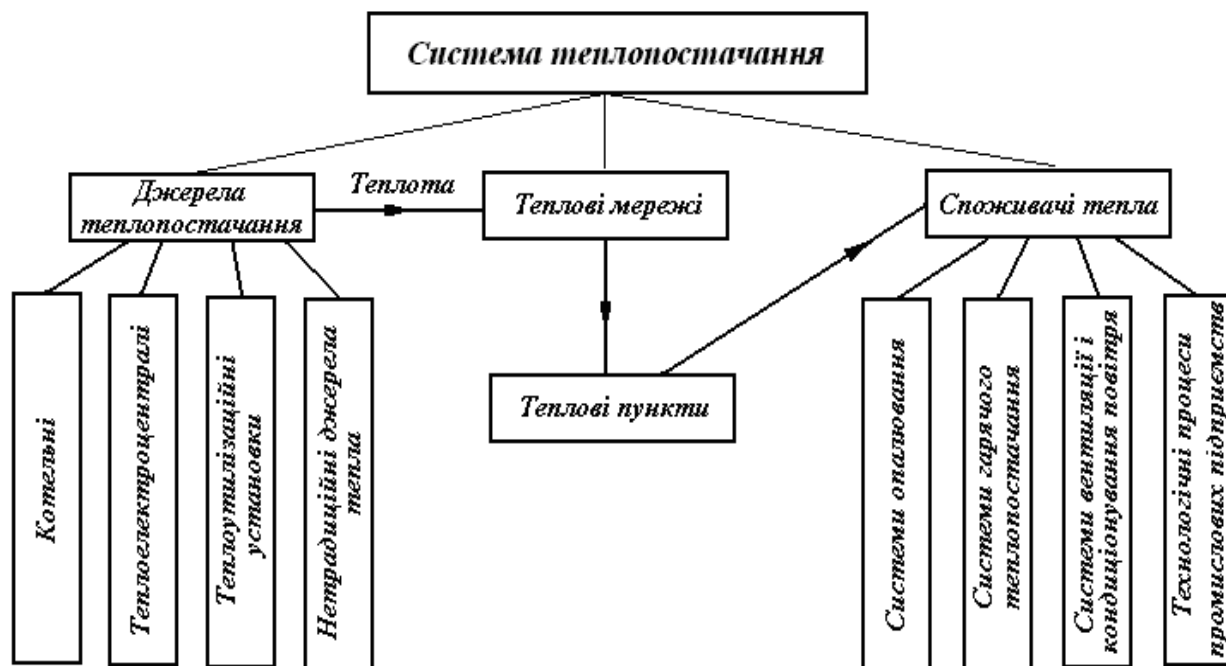


Рис. 1.1. Елементи системи теплопостачання.

1.2. Класифікація систем теплопостачання

Системи теплопостачання класифікуються за такими **основними ознаками**: вид теплоносія, потужність, вид джерела теплоти [3, 8, 12].

I. Залежно від *виду теплоносія*.

Теплоносій називається середовище, що передає теплоту від джерела теплоти до нагрівальних приладів систем опалення, вентиляції і гарячого водопостачання.

У сучасних умовах теплопостачання споживачів забезпечується зазвичай такими теплоносіями:

- 1) гарячим повітрям;
- 2) гарячою водою;
- 3) водяною парою;
- 4) за допомогою електроенергії.

У нашій країні для міст і житлових районів як теплоносій використовують воду.

На промислових площадках у промислових районах для систем теплопостачання застосовують воду й пару. Пара в основному застосовується для технологічних потреб. Останнім часом існує тенденція застосування і на промислових об'єктах єдиного теплоносія – води, що використовується і при технологічних процесах. Застосування єдиного теплоносія спрощує схему теплопостачання, веде до зменшення капітальних витрат і сприяє якісній і дешевій експлуатації.

Ефект передачі теплоти при застосуванні води полягає в тому, що вода, яка безупинно рухається від джерела теплоти по трубопроводах до нагрівальних приладів, охолоджується в останніх за рахунок контакту з відносно холодною їхньою поверхнею (знижує температуру) і тим самим передає частину теплоти повітрю приміщення в системах опалення.

У системах централізованого теплопостачання (див. далі) вибір теплоносія, як правило, слід робити у відповідності з ДБН В 2.5-67:2013 і діючими санітарними й протипожежними нормами. При цьому необхідно враховувати таке:

1) для подачі теплоти в системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря перевага віддається гарячій воді, при якій надходження теплоти піддається центральному якісному регулюванню;

2) при роботі водяних систем у приміщеннях відсутні специфічний запах гарячого пилу і неприємні металеві шуми, властиві роботі парових систем при русі пароконденсатної суміші по трубопроводах. Таким чином, водяні системи поліпшують санітарно-гігієнічні умови і сприяють створенню в приміщеннях більш здорової і комфортної обстановки;

3) можливий радіус дії водяної системи (30-60 км від джерела теплоти до споживача) значно перевищує можливий радіус дії парової системи (до 6-15 км). Завдяки цій важливій перевазі теплопостачання при теплоносії – гарячій

воді – може здійснюватися від джерела теплоти, розташованого далеко від споживачів, навіть за межею міста;

4) при використанні води як теплоносія відпадає важка задача зі збирання й повернення конденсату до джерела теплоти. Станція перекачування конденсату з конденсатними баками вимагає від споживачів теплоти досить великих приміщень. Повернення конденсату зв'язане з явищем вторинного пароутворення. Для використання теплоти вторинної пари встановлюють спеціальні пароводяні підігрівачі, що утилізують теплоту пароконденсатної суміші. При відсутності цієї чи іншої можливості теплота вторинної пари втрачається;

5) вода має порівняно низьку температуру, а отже, і поверхні нагрівальних приладів не нагріваються надмірно;

6) існує можливість ступінчастого підігріву води на ТЕЦ, з використанням низьких тисків пари і збільшення в такий спосіб виробленої електричної енергії на тепловому споживанні;

7) відносна простота приєднання водяних систем опалення, вентиляції і гарячого водопостачання до теплових мереж;

8) великий термін служби водяних систем опалення, водопостачання і вентиляції в порівнянні з паровими, через більш інтенсивну корозію внутрішньої поверхні конденсатопроводів останньої.

Приймаючи до уваги сказане, незважаючи на деякі переваги пари як теплоносія, вона застосовується для систем теплопостачання й опалювальних систем значно рідше води і лише для тих приміщень, де немає довгострокового перебування людей.

"Будівельними нормами і правилами" парове опалення дозволяється застосовувати в торгових приміщеннях, лазнях, пральнях, кінотеатрах, у промислових будинках. У житлових будинках парові системи не застосовуються.

II. Залежно від *потужності джерела теплоти*, кількості *споживачів*, що приходяться на одне джерело, і *взаємного розташування джерела і споживачів теплоти* системи теплопостачання розділяються на:

- 1) централізовані;
- 2) децентралізовані (місцеві).

Централізованими системами теплопостачання називаються в тому випадку, коли від одного джерела теплоти подається теплота для багатьох приміщень або будинків. Найпростішою формою централізованого теплопостачання є система постачання теплотою одного будинку будь-якого об'єму від одного джерела теплоти. Як правило, такими системами називають системи опалення будинків, що одержують теплоту від котла, встановленого в підвалі будинку. Від цього котла може подаватися теплота для систем вентиляції і гарячого водопостачання цього будинку.

Місцевими (децентралізованими) називають системи теплопостачання, в яких три основні ланки об'єднані і знаходяться в одному приміщенні, або в суміжних приміщеннях і застосовуються тільки в цивільних будинках

невеликого об'єму або у невеликих допоміжних приміщеннях на промислових площадках, відокремлених від основних виробничих корпусів. Прикладом таких систем є печі, газове або електричне опалення. У цих випадках одержання теплоти і передача його повітрю приміщень об'єднані в одному пристрої і розташовані в опалювальних приміщеннях.

Децентралізоване теплопостачання характеризується такими ознаками:

- невеликою потужністю джерела теплоти (котельні теплопродуктивністю до 20 Гкал/год);
- невеликою кількістю споживачів, що використовують теплоту від одного джерела;
- близьким розташуванням джерела і споживачів теплоти, що в деяких випадках виключає необхідність прокладки зовнішніх теплових мереж.

Централізоване теплопостачання в порівнянні з децентралізованим має такі переваги:

- 1) економніше використання палива за рахунок вищих к.к.д. котлів з високою продуктивністю;
- 2) можливість використання низькосортного палива, наприклад, високозольних марок вугілля, шляхом застосування систем пилоприготування, що можливо тільки в крупних котельнях, що працюють на пиловугільному паливі;
- 3) поліпшення екологічної обстановки:
 - внаслідок віддалення джерел теплоти (котельних і ТЕЦ) від споживачів і локалізація спалювання палива далеко від житлових районів;
 - за рахунок можливості застосування ефективних і сучасних методів очищення, що можливо тільки в крупних котельнях і ТЕЦ централізованого теплопостачання;
- 4) зниження питомих капітальних та експлуатаційних витрат на вироблення теплової енергії, що характерне при укрупненні джерел теплоти;
- 5) звільнення територій міст і підприємств від численних котельних;
- 6) розвантаження транспорту, у тому числі й трубопровідного, для доставки палива до джерел теплоти;
- 7) можливість комфортнішого забезпечення споживачів тепловою енергією за рахунок розміщення джерел теплоти поза будівлями і далеко від будівель, що споживають теплову енергію.

III. За видом джерела теплоти системи централізованого теплопостачання розділяють на *районне теплопостачання* і *теплофікацію*. При районному теплопостачанні джерелом теплоти служить районна котельня (теплопродуктивністю понад 20 Гкал/год., або понад 20÷25 МВт), а при теплофікації – ТЕЦ (теплоелектроцентрально).

Теплоносій одержує теплоту з районної котельні (або ТЕЦ) і по зовнішнім трубопроводам, що мають назву теплові мережі, надходить у системи опалення і вентиляції промислових, громадських і житлових будинків. У нагрівальних приладах, розташованих усередині будинку, теплоносій віддає

частину акумульованої в ньому теплоти і відводиться по спеціальним трубопроводам назад до джерела теплоти.

Теплофікація від районного теплопостачання відрізняється не тільки видом джерела теплоти, але й самим характером виробництва теплової енергії. Вона може бути охарактеризована як централізоване теплопостачання на базі комбінованого виробництва теплової та електричної енергій.

Крім джерела теплоти, всі інші елементи в системах районного теплопостачання і теплофікації однакові. Однак, як правило, охоплення централізованим теплопостачанням, тобто кількість абонентів, що постачаються теплою, при теплофікації значно вище, ніж при районному теплопостачанні.

2. ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

2.1. Види джерел теплоти

Традиційно, як основні *джерела теплоти* в системах теплопостачання називають [4, 6, 11]:

1) парові, водогрійні та пароводогрійні *котельні* різних потужностей і призначень;

2) *теплоелектроцентралі* (ТЕЦ) – електростанції, які відпускають зовнішньому споживачу як електричну, так і теплову енергію;

3) *теплоутилізаційні* установки, які використовують вторинні енергоресурси (ВЕР) промислових підприємств.

Розподіл вироблення теплової енергії між джерелами теплоти в Україні складає:

ТЕЦ.....	40%
промислові котельні.....	25%
районні, групові, квартальні і будинкові котельні.....	33%
теплоутилізаційні установки.....	2%
	100%

До них можна додати:

4) *нетрадиційні джерела*, які дають безпосередньо високо-температурний теплоносії (наприклад, геотермальні води, теплота від Сонця). Такі теплоносії (гаряча вода, пара) нічим не відрізняються від тих, що отримують в котельнях та на ТЕЦ;

5) енергетичні системи, що виробляють *електричну енергію* різного походження, як з так званих традиційних, так і нетрадиційних джерел.

2.2. Парові, водогрійні та пароводогрійні котельні

2.2.1. Класифікація котельних в системах теплопостачання

Котельня в системі теплопостачання – комплекс агрегатів, установок і пристроїв, призначених для вироблення теплової енергії (у вигляді нагрітої води або пари) і підготовки теплоносіїв до транспортування через теплові мережі до зовнішнього споживача [1, 3, 4, 8, 12].

Основні варіанти класифікації котелень в системі тепlopостачання:

I. За територіально-відомчою ознакою:

- 1) районні котельні (призначені для забезпечення тепловою енергією всіх споживачів району: житлові, громадські й виробничі будівлі);
- 2) квартальні й групові (призначені для забезпечення тепловою енергією будівель кварталу або групи будівель);
- 3) котельні промислового підприємства (призначені для забезпечення тепловою енергією споживачів підприємства).

II. Залежно від виду переважаючого теплового навантаження:

- 1) промислові котельні (призначені для забезпечення тепловою енергією технологічних процесів промислових підприємств);
- 2) опалювальні котельні (призначені для забезпечення тепловою енергією систем опалювання та інших комунально-побутових споживачів);
- 3) промислово-опалювальні котельні (призначені для забезпечення тепловою енергією в рівній мірі технологічних і комунально-побутових споживачів).

III. Залежно від типу встановлених в котельні котлів:

- 1) парові котельні;
- 2) водогрійні котельні;
- 3) пароводогрійні котельні.

IV. Залежно від виду спалюваного палива:

- 1) газові;
- 2) мазутні;
- 3) газомазутні;
- 4) котельні на твердому паливі.

V. Залежно від теплової потужності:

- 1) котельні малої потужності (теплопродуктивність < 20 Гкал/год);
- 2) котельні середньої потужності (теплопродуктивність $20 \div 100$ Гкал/год);
- 3) котельні великої потужності (теплопродуктивність > 100 Гкал/год).

Котельні теплопродуктивністю понад 300 Гкал/год, обладнані потужними системами енергозабезпечення, називаються тепловими станціями.

2.2.2. Технологічна структура котельні

Устаткування котельні зазвичай розділяють на 6 технологічних груп (4 основні та 2 додаткові).

До **основних технологічних груп** відноситься устаткування:

- 1) для підготовки палива перед спалюванням в котлі;
- 2) для підготовки котельної живильної і мережної підживлюючої води;
- 3) для вироблення теплоносія (пари або нагрітої води), тобто котлоагрегати та їхнє допоміжне устаткування;
- 4) для підготовки теплоносія до транспорту по тепловій мережі.

До **додаткових груп** відносяться:

- 1) електроустаткування котельні;

2) контрольно-вимірjuвальні прилади і системи автоматики.

У парових котельнях залежно від способу приєднання котлоагрегатів до теплопідготовчих установок, наприклад, до мережних підігрівачів, розрізняють такі технологічні структури:

1) централізована, при якій пара від всіх котлоагрегатів прямує у центральний паропровід котельні, а потім розподіляється по теплопідготовчим установкам;

2) секційна, при якій кожний котлоагрегат працює на цілком визначену теплопідготовчу установку з можливістю перемикаання пари на суміжні (розташовані поряд) теплопідготовчі установки. Устаткування, зв'язане можливістю перемикаання, утворює секцію котельні;

3) блокова структура, при якій кожний котлоагрегат працює на визначену теплопідготовчу установку без можливості перемикаання.

2.2.3. Котельні установки

2.2.3.1. Класифікація, параметри та типорозміри котлів

Пристрій, призначений для отримання гарячої води або пари підвищеного тиску за рахунок теплоти спалюваного палива, називається котлоагрегатом.

Котлоагрегати класифікують:

- за призначенням – енергетичні, промислові, побутові котли-утилізатори;
- за тиском – низького (до 1 МПа), середнього (1÷10 МПа), високого (14 МПа), надвисокого (18÷20 МПа), надкритичного (>22,5 МПа);
- за продуктивністю – малої, середньої, великої;
- за видом теплоносія – парові й водогрійні;
- за способом циркуляції – з природною циркуляцією, коли циркуляція здійснюється за рахунок різниці густини води в опускних і підйомних кип'ятильних трубках (котли барабанні); з багаторазовою примусовою циркуляцією (барабанні), у яких циркуляція здійснюється насосом; прямотечійні – вода по поверхнях нагріву проходить один раз та виходить у вигляді перегрітої пари.

Робота котлоагрегату забезпечується низкою допоміжних пристроїв з підготовки води, палива, золошлаковидалення. Котлоагрегат спільно з допоміжними пристроями називається **котельною установкою**. Основні параметри котлів: продуктивність, тиск пари, температура перегрітої пари, температура живильної води, температура газів, що виходять. Типорозмір котла включає: вид циркуляції – природна, Пр – примусова, П – прямотечійна; продуктивність; тиск. Наприклад, Пр-0,16-9 – котел з примусовою циркуляцією, продуктивністю 0,16 т/год і тиском 9 кг/см² [12, 13].

2.2.3.2. Схема котельної установки

На рис. 2.1 наведена схема котла середнього тиску П-подібної компоновки.

Контур циркуляції включає: барабан – опускні труби – нижній колектор – підйомні труби – барабан.

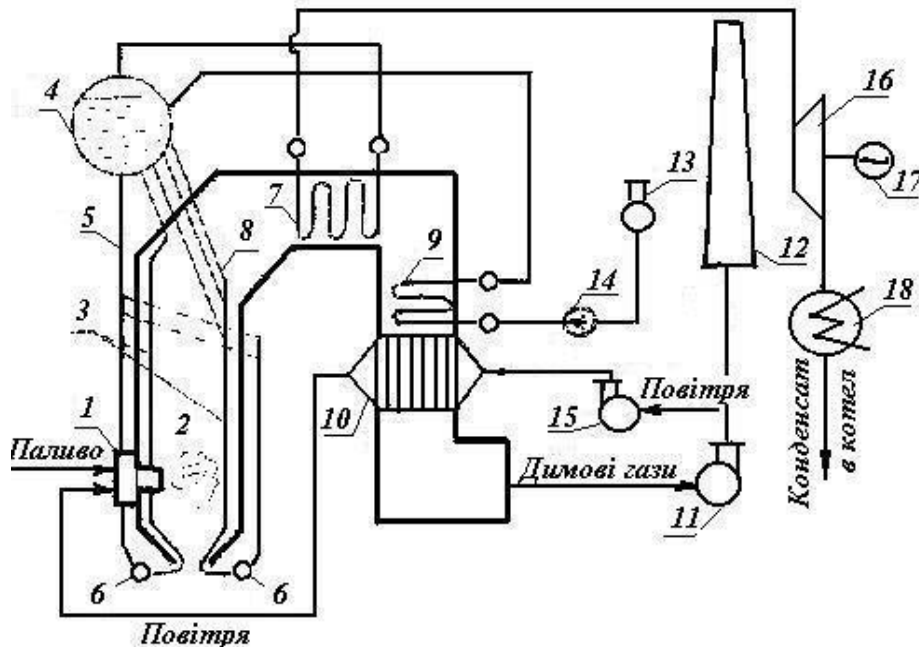


Рис. 2.1. Схема котельної установки:

1 – паливо; 2 – топка; 3 – екранні труби; 4 – барабан котла; 5 – опускні труби; 6 – нижні колектора; 7 – пароперегрівач; 8 – фестон; 9 – економайзер; 10 – повітропідігрівник; 11 – димосос; 12 – димова труба; 13 – деаератор; 14 – живильні насоси; 15 – вентилятор; 16 – парова турбіна; 17 – електрогенератор; 18 – конденсатор.

Газовий тракт: топка – міжтрубний простір котельного пучка – міжтрубний простір перегрівника – між ребристими трубами економайзера – усередині труб повітропідігрівач – димосос – димова труба – атмосфера.

Водяний тракт: деаератор – живильні насоси – усередині труб економайзера – барабан – контур циркуляції.

Паровий тракт: барабан – усередині труб пароперегрівача – парова турбіна.

Повітряний тракт: вентилятор – між трубами повітропідігрівача – паливо.

Пароперегрівач, економайзер, повітропідігрівник називаються хвостовими поверхнями підігріву.

2.2.4. Теплова потужність котельні

Теплова потужність котельні є сумарною теплопродуктивністю котельні по всіх видах теплоносіїв, що відпускаються з котельні через теплову мережу зовнішнім споживачам.

Розрізняють встановлену, робочу й резервну теплові потужності.

Встановлена теплова потужність – сума теплових потужностей всіх встановлених в котельні котлів при роботі їх в номінальному (паспортному) режимі.

Робоча теплова потужність – теплова потужність котельні при роботі її з фактичним тепловим навантаженням в даний момент часу.

У **резервній** тепловій потужності розрізняють теплову потужність явного і прихованого резерву.

Теплова потужність явного резерву – сума теплових потужностей встановлених в котельні котлів, що знаходяться в холодному стані.

Теплова потужність прихованого резерву – різниця між встановленою і робочою тепловими потужностями.

2.2.5. Техніко-економічні показники котельні

Техніко-економічні показники котельні розділяються на 3 групи: енергетичні, економічні й експлуатаційні (робочі), які, відповідно, призначені для оцінки технічного рівня, економічності та якості експлуатації котельні.

Енергетичні показники котельні включають:

1. К.к.д. котлоагрегату брутто (відношення кількості теплоти, виробленої котлоагрегатом $Q_k^{\text{брутто}}$, до кількості теплоти, одержаної від спалювання палива $Q_{\text{п}}$):

$$\eta_k^{\text{брутто}} = Q_k^{\text{брутто}} / Q_{\text{п}}. \quad (2.3)$$

Теплова потужність котлоагрегату, визначається:

Для парових котлів:

$$Q_{\text{п}}^{\text{брутто}} = D_{\text{п}}(h_{\text{п}} - h_{\text{жв}}) + D_{\text{пр}}(h_{\text{пр}} - h_{\text{жв}}), \quad (2.4)$$

де $D_{\text{п}}$ – масова витрата пари, одержуваної в котлі, кг/с;

$h_{\text{п}}$ – ентальпія пари, кДж/кг;

$h_{\text{жв}}$ – ентальпія живильної води, кДж/кг;

$D_{\text{пр}}$ – кількість продувочної води, кДж/кг;

$h_{\text{пр}}$ – ентальпія продувочної води, кДж/кг.

Для водогрійних котлів:

$$Q_{\text{г}}^{\text{брутто}} = M_{\text{г}}(h_2 - h_1), \quad (2.5)$$

де $M_{\text{г}}$ – масова витрата мережної води через котел, кг/с;

h_1 і h_2 – ентальпії води до і після нагріву в котлі, кДж/кг.

Кількість теплоти, одержана від спалювання палива, визначається добутком:

$$Q_{\text{т}} = B_{\text{к}} \cdot Q_{\text{к}}^{\text{р}}, \quad (2.6)$$

де $B_{\text{к}}$ – витрата палива в котлі, кг/с.

2. Частка витрати теплоти на власні потреби котельні (відношення абсолютної витрати теплоти на власні потреби до кількості теплоти, виробленої в котлоагрегаті):

$$q_{\text{вп}} = Q_{\text{вп}} / Q_{\text{к}}^{\text{брутто}}, \quad (2.7)$$

де $Q_{\text{вп}}$ – абсолютна витрата теплоти на власні потреби котельні, яка залежить від особливостей котельні і включає витрату теплоти на підготовку котельної живильної і мережної підживлювальної води, підігрівання і розпилювання мазуту, опалювання котельні, гаряче водопостачання котельні та ін.

3. К.к.д. котлоагрегату нетто, який на відміну від к.к.д. котлоагрегату брутто, не враховує витрату теплоти на власні потреби котельні:

$$\eta_{\text{к}}^{\text{нетто}} = \frac{Q_{\text{к}}^{\text{нетто}}}{Q_{\text{т}}} = \frac{Q_{\text{к}}^{\text{брутто}} - Q_{\text{вп}}}{Q_{\text{т}}}, \quad (2.8)$$

де $Q_{\text{к}}^{\text{нетто}}$ – вироблення теплоти в котлоагрегаті без урахування витрати теплоти на власні потреби.

З урахуванням (2.7)

$$\eta_{\text{к}}^{\text{нетто}} = \frac{Q_{\text{к}}^{\text{брутто}} - q_{\text{вп}} \cdot Q_{\text{к}}^{\text{брутто}}}{Q_{\text{т}}} = \eta_{\text{к}}^{\text{брутто}} (1 - q_{\text{вп}}). \quad (2.9)$$

4. К.к.д. теплового потоку, який враховує втрати теплоти при транспортуванні теплоносіїв усередині котельні внаслідок передачі теплоти в навколишнє середовище через стінки трубопроводів і витоків теплоносіїв: $\eta_{\text{ТП}} = 0,98 \div 0,99$.

5. К.к.д. окремих елементів теплової схеми котельні:

- к.к.д. редуційно-охолоджувальної установки – $\eta_{\text{РОУ}}$;
- к.к.д. деаератора підживлювальної води – $\eta_{\text{Д}}$;
- к.к.д. мережних підігрівачів – $\eta_{\text{МП}}$.

6. К.к.д. котельні – добуток к.к.д. всіх елементів, агрегатів і установок, які створюють теплову схему котельні, наприклад:

К.к.д. парової котельні, що відпускає споживачу пару:

$$\eta_{\text{кот}} = \eta_{\text{к}}^{\text{нетто}} \cdot \eta_{\text{РОУ}} \cdot \eta_{\text{МП}}, \quad (2.10)$$

К.к.д. парової котельні, що відпускає споживачу нагріту мережну воду:

$$\eta_{\text{кот}} = \eta_{\text{к}}^{\text{нетто}} \cdot \eta_{\text{дпв}} \cdot \eta_{\text{вп}} \cdot \eta_{\text{МП}}. \quad (2.11)$$

К.к.д. водогрійної котельні:

$$\eta_{\text{кот}} = \eta_{\text{к}}^{\text{нетто}} \cdot \eta_{\text{дпв}} \cdot \eta_{\text{МП}}. \quad (2.12)$$

7. Питома витрата умовного палива на вироблення теплової енергії – маса умовного палива, витраченого на вироблення 1 Гкал або 1 ГДж теплової енергії, що відпускається зовнішньому споживачу:

$$b_{\text{кот}} = B_{\text{кот}} / Q_{\text{відп}} , \quad (2.13)$$

де $B_{\text{кот}}$ – витрата умовного палива в котельні;

$Q_{\text{відп}}$ – кількість теплоти, відпущена з котельні зовнішньому споживачу.

Витрата умовного палива в котельні визначається виразами:

$$B_{\text{кот}} = \frac{Q_{\text{відп}} \cdot 10^6}{\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}} \cdot 7000} = \frac{143 \cdot Q_{\text{відп}}}{\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}}} \text{ кг у.п./Гкал}; \quad (2.14)$$

$$B_{\text{кот}} = \frac{Q_{\text{відп}} \cdot 10^6}{\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}} \cdot 29330} = \frac{34,1 \cdot Q_{\text{відп}}}{\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}}} \text{ кг у.п./ГДж}, \quad (2.15)$$

де 7000 і 29330 – теплота згорання умовного палива в ккал/кг у. т. і кДж/кг у. п.

Після підстановки (2.14) або (2.15) в (2.13):

$$b_{\text{кот}} = \frac{143}{\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}}} \text{ кг у.п./Гкал} \quad (2.16)$$

$$b_{\text{кот}} = \frac{34,1}{\eta_{\text{кот}}^{\text{нетто}}} \text{ кг у.п./ГДж}. \quad (2.17)$$

К.к.д. котельні $\eta_{\text{к}}^{\text{нетто}}$ і питома витрата умовного палива $b_{\text{кот}}$ є найважливішими енергетичними показниками котельні і залежать від типу встановлених котлів, виду спалюваного палива, потужності котельні, вигляду і параметрів теплоносіїв, що відпускаються [14, 15].

2.2.6. Водний режим котла

Водний режим котла включає:

– підготовку води до подачі в котел: освітлення – фільтрування – зм'якшування – термічна деаерація;

– внутрішньокотельну обробку води: продування і фосфатування.

Розрізняють періодичне й безперервне продування. Безперервне – випуск води через трубу малого діаметру в каналізацію. Періодичне – випуск води 2-3 рази на зміну. Безперервне проводиться з барабана котла, а періодичне – з нижніх колекторів.

2.2.7. Розрахунок котлів

Розрізняють проектний і перевірочний розрахунки котлів. Проектний проводиться на заводі-виробнику, а перевірочний – на підприємстві. У топці котла переважає теплообмін випромінюванням; у котельному пучку і перегрівнику – радіаційно-конвективний; у економайзері – конвективно-радіаційний; у повітропідігрівачі – конвективний теплообмін. Теплота між середовищами передається шляхом теплопередачі. В основі розрахунку елементів котла лежить рівняння теплового балансу

$$Q = \varphi(h' - h'' + \Delta\alpha \cdot h^0), \quad (2.18)$$

де Q – теплота, що передається;
 φ – коефіцієнт втрат теплоти в навколишнє середовище;
 h', h'' – ентальпія газів на вході й виході з елемента;
 $\Delta\alpha \cdot h^0$ – теплота, що вноситься в елемент з повітрям, яке усмоктується;
Рівняння теплопередачі

$$Q = kF \overline{\Delta t}, \quad (2.19)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);
 F – поверхня теплопередачі, м²;
 $\overline{\Delta t}$ – середня різниця температур, К.

2.2.8. Тепловий баланс котла

У топку котла вноситься теплота

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_n + Q_\phi + Q_\phi - Q_\kappa, \quad (2.20)$$

де Q_p^p – наявна теплота;
 Q_n^p – нижча теплота згоряння палива;
 Q_n – фізична теплота палива;
 Q_ϕ – теплота пари при розпилюванні палива;
 Q_κ – теплота розкладання карбонатів.
Наявна теплота витрачається так:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (2.21)$$

$$\text{або } 100\% = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (2.22)$$

де $Q_1 (q_1)$ – теплота, що використовується корисно (нагрівання води, пароутворення, перегрівання пари);
 $Q_2 (q_2)$ – втрати теплоти з газами, що виходять;
 $Q_3 (q_3)$ – втрати теплоти від хімічного недопалювання;
 $Q_4 (q_4)$ – втрати теплоти від механічного недопалювання;
 $Q_5 (q_5)$ – втрати теплоти в навколишнє середовище;
 $Q_6 (q_6)$ – втрати теплоти зі шлаками;

$$q_i = \frac{Q_i}{Q_p^p} 100\%; \quad (2.23)$$

к.к.д. бруто

$$\eta_{\kappa a}^{\bar{p}} = q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p} 100\%; \quad (2.24)$$

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{нт}} = \frac{Q_1 - Q_{\text{в.п.}}}{Q_p} 100\%; \quad (2.25)$$

$Q_{\text{в.п.}}$ – витрата теплоти на власні потреби.

2.3. Теплоелектроцентралі (ТЕЦ) та інші типи електричних станцій

2.3.1. Класифікація електричних станцій в залежності від виду споживачів

У разі, якщо станція загального призначення виробляє тільки електричну енергію, вона називається **центральною електричною (ЦЕС) або державною районною електричною (ДРЕС)** станцією в залежності від протяжності електричних мереж, кількості об'єктів, що обслуговуються і адміністративною приналежністю. Використовують об'єднану назву для цих станцій – **конденсаційні електричні станції (КЕС)**, оскільки на них встановлюють конденсаційні парові турбіни. Якщо ці станції забезпечують споживачів не тільки електричною енергією, але й теплотою, то їх називають **теплоелектроцентралями (ТЕЦ)**.

2.3.2. Типи паротурбінних електричних станцій. Теплоелектроцентралі

Конденсаційні електричні станції, як вже вказувалося, постачають споживачу тільки електричну енергію. Схема найпростішої КЕС показана на рис. 2.2. З парового котла 1 пара поступає на турбіну 2, котра приводить у рух електричний генератор 3. Відпрацьована пара після турбіни направляється в конденсатор 4. Конденсат з конденсатора насосом 5 перекачується у бак живильної води. В трубопроводах й обладнанні електричної станції мають місце втрати пари та води, тому в бак 6 для поповнення цих втрат по трубопроводу 8 подається додаткова хімічно очищена вода. Живильна вода з баку 6 подається живильним насосом 7.

Теплова схема сучасних електричних станцій значно складніша, оскільки для підвищення її продуктивності будують турбіни з відбиранням пари з проміжних ступенів для регенеративного підігріву живильної води.

Теплоелектроцентралі. Для одночасного вироблення теплоти та електричної енергії на електричних станціях встановлюють турбіни з регульованим відбиранням пари. На рис. 2.3 наведена принципова схема теплової станції, яка має промислове теплове навантаження. Пара, яку отримують у котлі 1, поступає на турбіну 2, безпосередньо зв'язану з електричним генератором 3. Після турбіни пара направляється у конденсатор 4. З проміжної ступені турбіни при необхідному регулюванні тиску відбирають пару, яка подається споживачам теплоти 7. На виробництві частина пари втрачається, а частина конденсується і насосом 8 направляється у живильний бак 6 електричної станції. У живильний бак 6 конденсатним насосом 5 подається конденсат з конденсатора. Для поповнення втрат пари й конденсату в живильний бак по трубопроводу 10 додається хімічно очищена вода. Живильну воду подає у котел 1 живильний насос 9.

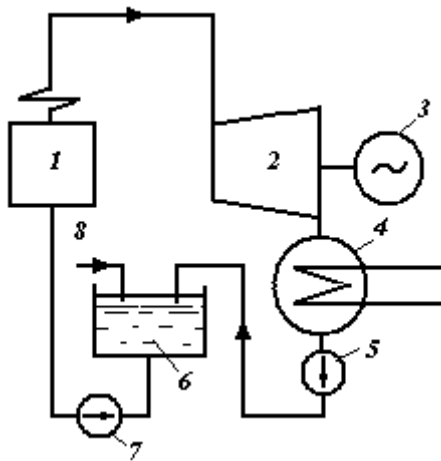


Рис. 2.2. Теплова схема найпростішої конденсаційної електричної станції:

1 – паровий котел; 2 – турбіна;
3 – електричний генератор;
4 – конденсатор; 5 – насос; 6 – живильний бак;
7 – живильний насос; 8 – трубопровід.

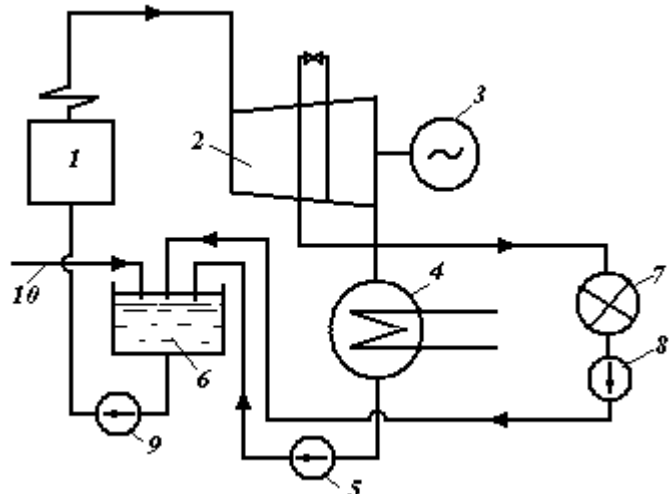


Рис. 2.3. Теплова схема найпростішої теплоелектроцентралі:

1 – паровий котел; 2 – турбіна; 3 – електричний генератор; 4 – конденсатор; 5 – конденсатний насос;
6 – живильний бак; 7 – споживачі теплоти; 8 – насос;
9 – живильний насос; 10 – трубопровід.

В районах, які обслуговують крупні ТЕЦ, зазвичай є споживачі теплоти, що використовують її у вигляді пари й гарячої води. У цьому випадку на ТЕЦ встановлюють турбіни з двома регульованими відборами пари. На рис. 2.4 наведена принципова схема електричної станції, на якій встановлений турбогенератор типу ТП з двома регульованими відборами пари (відбори II і IV) і трьома регульованими відборами пари, призначеними для регенеративного підігріву живильної води. З відбору II пара по трубопроводу 27 направляється до промислових споживачів. Одночасно пара з цього відбору використовується у регенеративному підігрівачі 8 і деаераторі 11. З регульованого відбору IV пара направляється в основний мережний підігрівач 21. У цьому підігрівачі мережна вода підігрівається до 100-120 °С. Мережна вода від споживачів повертається по магістралі 24 і поступає у мережний підігрівач за допомогою насосу 23. Температура гарячої мережної води (при розрахунковій температурі зовнішнього повітря) приймається близько 150 °С. Для нагрівання мережної води до цієї температури служить піковий мережний підігрівач 22, в який поступає пара з трубопроводу 27.

Щоб забезпечити безперебійне постачання споживачів парою, як резерв передбачений редуктор 30 для дроселювання пари. Конденсат з пікового підігрівача 22 направляється в основний 21, з якого поступає в деаератор. Конденсат технологічної пари повертається з виробництва по трубопроводу 28 і насосом 19 закачується у магістраль живильної води між підігрівачами 14 і 15 через змішувач 33. З регенеративних підігрівачів 7 і 8 конденсат по трубопроводу 10 направляється у деаератор. Втрати пари й живильної води в системі ТЕЦ поповнюється очищеною й деаерованою водою, яка накачується по трубопроводу 18 за допомогою насосу 34. Додаткова вода подається у змішувач 32, передбачений між підігрівачами 13 і 14. Кількість додаткової води

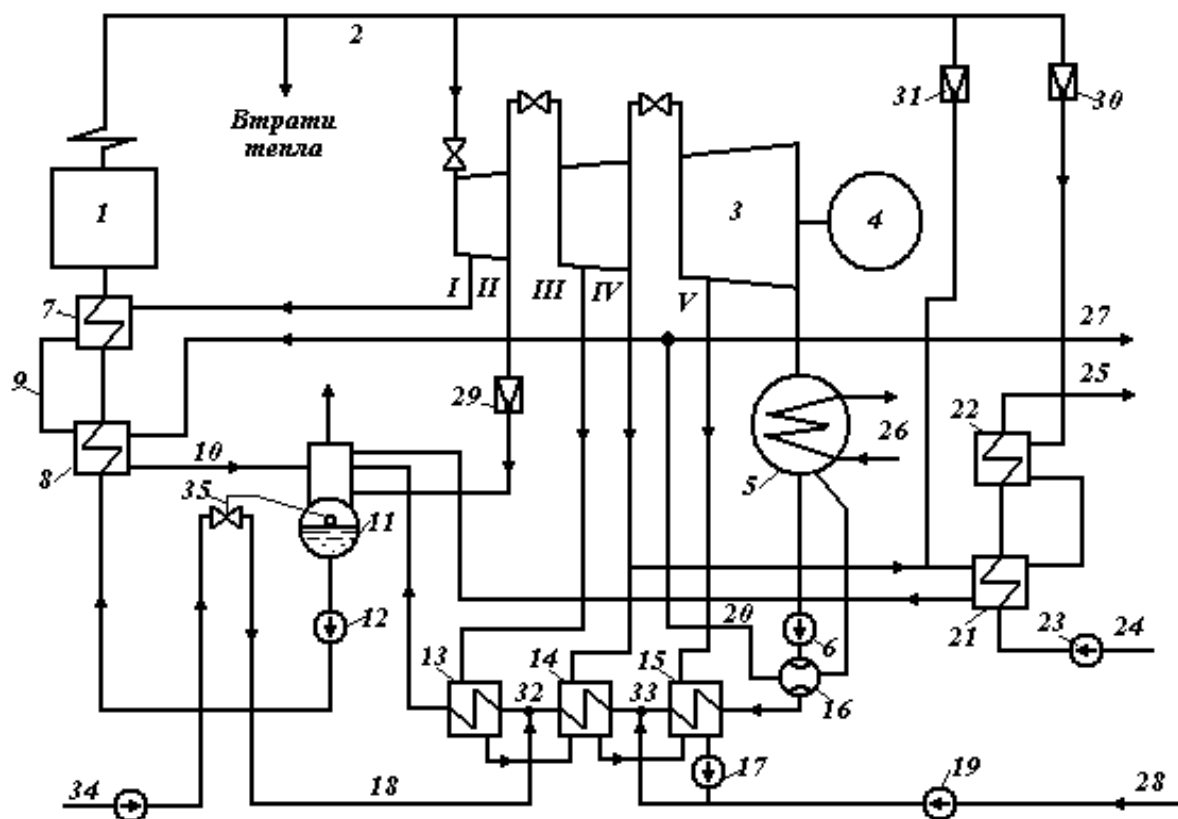


Рис. 2.4. Принципова схема ТЕЦ з турбогенератором типу ПТ:

1 – паровий котел з пароперегрівачем; 2 – паропровід перегрітої пари високого тиску; 3 – турбіна типу ПТ; 4 – електричний генератор; 5 – конденсатор; 6 – конденсатний насос; 7 і 8 – регенеративні підігрівачі високого тиску; 9 і 10 – трубопроводи для зливання конденсату з підігрівачів 8 і 9; 11 – деаератор; 12 – живильний насос; 13, 14 і 15 – регенеративні підігрівачі низького тиску; 16 – підігрівач пари з ежекторів; 17 – насос для конденсату з регенеративних підігрівачів низького тиску; 18 – трубопровід додаткової води; 19 – насос конденсату пари виробництва; 20 – відгалуження паропроводу до ежекторів; 21 – основний мережний підігрівач; 22 – піковий мережний підігрівач; 23 – мережний насос; 24 – зворотна магістраль мережної води; 25 – подавальна магістраль мережної води; 26 – трубопровід охолоджувальної води; 27 – трубопровід технологічної пари; 28 – конденсат технологічної пари; 29 – редуктор відбірної пари для підтримання постійного тиску в деаераторі; 30 – редукційно-охолоджувальна установка зниження тиску і температури пари до параметрів у відборі II; 31 – редукційно-охолоджувальна установка для резервування пари для основних мережних підігрівачів; 32, 33 – змішувачі; 34 – насос додаткової води; 35 – пристрій для регулювання рівня води в деаераторі.

регулюється автоматичним пристроєм 35, зв'язаним з рівнем води у баці деаератора. Конденсат регенеративних підігрівачів низького тиску у вигляді каскаду зливається з підігрівача 13 у 14 і далі в 15. З підігрівача 15 конденсат пари регенеративних підігрівачів насосом 17 направляється (через змішувач 33) в магістраль живильної води.

На сучасних ТЕЦ пікові резервні підігрівачі замінюють на водогрійні котли. Це економічно вигідно, оскільки вони працюють невелику кількість годин на рік і коштують недорогого [1, 3, 12].

2.4. Теплоутилізаційні установки, які використовують вторинні енергоресурси (ВЕР)

Такі установки використовують гази, рідини з відносно високими тисками й температурами, що викидаються з технологічних апаратів. До них, зокрема, відносять промислові вогнетехнічні установки, де теплоносієм є димові гази [7, 16].

Під вторинними енергоресурсами (ВЕР) мають на увазі енергію газів і рідин-відходів виробництва, яка може бути використана для отримання теплоти, холоду, роботи, електроенергії. ВЕР підрозділяються на:

- 1) пальні (паливні) гази та інші відходи виробництва, які можуть горіти;
- 2) теплові – фізична теплота газів і рідин, що відходять, теплота продукції, відходів;
- 3) надлишкового тиску – потенційна енергія газів і рідин, які покидають агрегати з надлишковим тиском.

Використовуються поняття:

- 1) вихід ВЕР – кількість ВЕР, що утворюється в одиницю часу;
- 2) вироблення ВЕР – кількість теплоти, холоду, роботи, яку одержують в установці утилізації. Розрізняють економічно доцільне, плановане і фактичне вироблення;
- 3) коефіцієнт вироблення – відношення фактичного вироблення до економічно доцільного;
- 4) коефіцієнт утилізації – відношення фактичної економії палива до економічно доцільної.

2.5. Нетрадиційні джерела теплоти

Нетрадиційні джерела теплоти, що забезпечують безпосередньо системи теплопостачання теплоносієм з високою температурою, – це, насамперед, Сонце і геотермальні джерела.

Найбільш розповсюдженими є **сонячні водонагрівачі (СВН)**, які можуть працювати як автономно, так і у складі об'єктів традиційної енергетики, системах опалення і кондиціонування, для підживлення котлів тощо. Основним елементом СВН є сонячний колектор, в якому знаходиться світлопоглинаюча панель з циркулюючим теплоносієм. СВН дозволяють отримувати теплоносій з температурою до 80-90 °С. Кожний квадратний метр сонячного колектора може забезпечити економію 100-120 кг умовного палива на рік. Економічно доцільне використання геліоводопідігрівачів насамперед на автономних об'єктах, таких як готелі, бази відпочинку, профілакторії. Вочевидь, при цьому влітку можна цілком відмовитись від традиційного гарячого водопостачання.

Для України, особливо її південних регіонів, де багато сонячних днів, широке розповсюдження індивідуальних геліоенергетичних установок або використання комбінованих сонячно-паливних систем опалювання дозволяють заощадити до 60 % палива, яке використовується при традиційних схемах.

Використання теплоти **геотермальних джерел** доцільне для таких регіонів планети, де є діючі вулкани, горні масиви з запасами вод (високо-

мінералізованих розсолів) з температурою 100°C; є геотермальні джерела в Ісландії, РФ, Італії, Японії, США. Що стосується нашої країни, то на сьогоднішній день ця проблема не є актуальною [16, 17].

2.6. Використання електричної енергії в системах теплопостачання

Для забезпечення побутових потреб в опаленні та гарячому водопостачанні в наш час широко використовуються електричні прилади – опалювальні котли, кондиціонери, водогрійні колонки. Вони мають очевидні переваги перед централізованими системами, оскільки дають можливість встановлювати потрібний режим опалення і гарячого водопостачання в залежності від потреби господаря.

Електрична енергія при цьому може мати різне походження. Окрім тієї електрики, яку ми отримуємо з гідроелектростанції (ГЕС), атомної (АЕС), теплової електростанції (ТЕС), теплоелектроцентралі (ТЕЦ), джерелом електричної енергії можуть служити також нетрадиційні джерела – Сонце, вітер, припливи й відливи, геотермальні джерела тощо.

Так, сонячно-термічні енергетичні системи спочатку перетворюють сонячну енергію у високотеплову, а потім термальну енергію – на механічну, що обертає турбіну. Внаслідок цього турбіна виробляє енергію.

Енергія геотермальних джерел, як і енергія Сонця, може бути використана для виробництва електричної енергії [4].

3. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ

Теплові мережі поєднують джерело теплопостачання зі споживачем теплоти через магістралі подачі й повернення теплоносія [4, 7, 10].

Як магістралі служать найчастіше *трубопроводи*.

За виглядом теплоносія системи (мережі) поділяють на *парові й водяні*; за *кількістю трубопроводів* – *одно- і багатотрубні*.

Водяні трубопроводи виконують найчастіше двотрубними: прямого трубопроводу теплоносія і зворотного трубопроводу – повернення теплоносія. У свою чергу водяні трубопроводи підрозділяють на відкриті й закриті. У відкритих вода використовується для технічних потреб, в закритих – ні. Переваги й недоліки відкритих і закритих систем розглядаються нижче.

Парові системи виконуються однострубними, коли використовується пара одного потенціалу, багатотрубними, коли використовується пара різних потенціалів. Парові системи бажано забезпечувати трубопроводом повернення конденсату. Приймачем теплоти є підприємство. Вода і пара підводяться в теплорозподільчий пункт (ТРП) на території підприємства.

3.1. Характеристика схем приєднання споживачів до теплопостачання

Системи теплопостачання, у яких як теплоносієм застосовується гаряча вода, можуть працювати за різними схемами приєднання споживачів. Основні

схеми теплопостачання, які застосовуються на практиці, розділяються за такими ознаками [4, 7].

1. За способом приєднання місцевих систем гарячого водопостачання, що забезпечують санітарно-побутові й технологічні потреби:

- а) закриті схеми;
- б) відкриті схеми.

2. За способом приєднання місцевих систем опалення, вентиляції і кондиціювання повітря:

- а) залежні схеми;
- б) незалежні схеми.

У закритій схемі теплопостачання теплоносієм використовується тільки для транспортування теплоти. Теплоносієм не витрачається і не відбирається з мережі (не враховуючи нормованих втрат – витоків та аварійних випадків).

У відкритій схемі теплопостачання теплоносієм (тобто гаряча вода) служить не тільки для транспортування теплоти, але також відбирається з мережі споживачами для гарячого водопостачання санітарно-побутових і технологічних потреб виробництва.

На рис. 3.1 схематично зображені закрыта і відкрита схеми теплопостачання (при закритій або відкритій схемах приєднання споживачів).

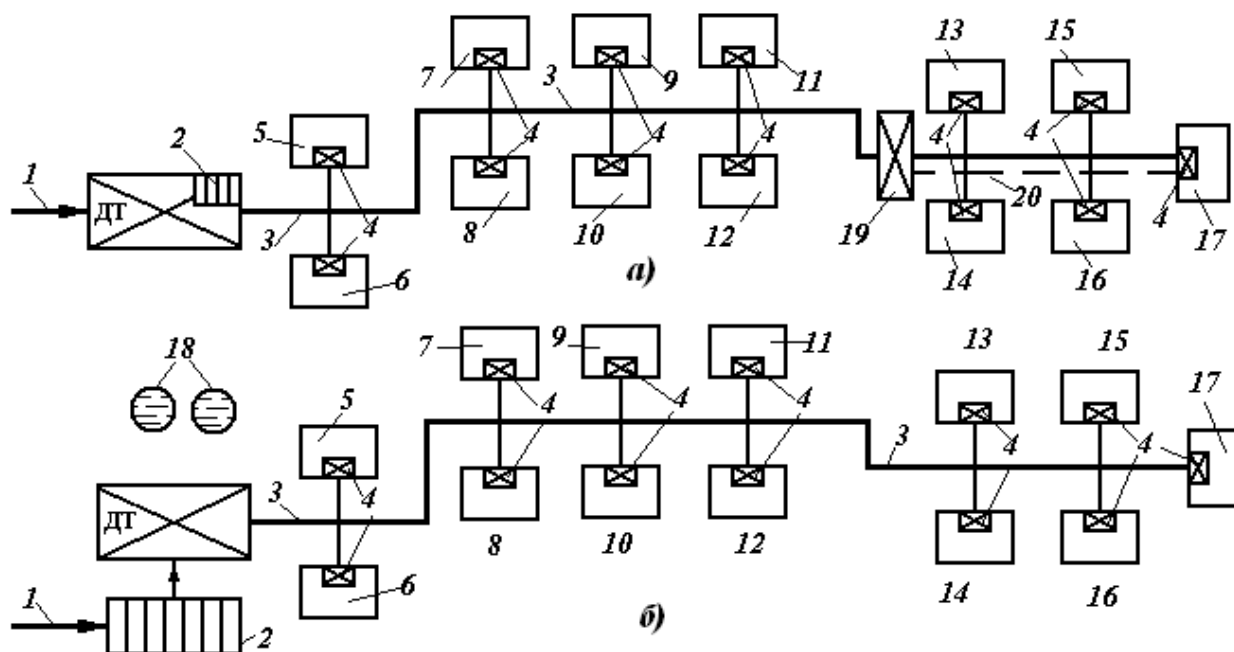


Рис. 3.1. Схеми теплопостачання:

а – закрыта схема; б – відкрита схема; ДТ – джерело теплоти;

1 – трубопровід холодної води питної якості; 2 – установка хімічного водоочищення; 3 – теплові мережі; 4 – теплові пункти; 5-17 – будинки споживачі теплоти; 18 – баки-акумулятори гарячої води; 19 – ЦТП при закритій схемі, у якому приготується гаряча вода для групи будинків 13-17; 20 – мережі системи гарячого водопостачання за ЦТП.

Капітальні витрати в будівництво й експлуатаційні витрати джерела теплоти для закритих схем менші, ніж у відкритих унаслідок спрощення хімічного водоочищення й відсутності великих баків-акумуляторів гарячої води. Основна зручність і простота експлуатації джерела теплоти в закритій схемі полягають у тім, що від нього не потрібно забезпечення місцевих систем гарячого водопостачання споживачів гарячою водою питної якості. Єдина вимога до води, що служить для поповнення системи, полягає в тому, що вона повинна бути деаерована і зм'якшена, щоб уникнути кисневої корозії й накипоутворення в системі теплопостачання.

Порівняння переваг і недоліків відкритої й закритої схем теплопостачання приводить до таких висновків.

Закриті схеми теплопостачання:

- 1) для джерела теплоти – дешевші в будівництві й простіші в експлуатації;
- 2) для теплових мереж – дорожчі в будівництві, але простіші в експлуатації;
- 3) для ТП споживачів теплоти – дорожчі в будівництві й складніші в експлуатації;
- 4) для місцевих систем споживачів теплоти схеми – рівноцінні в будівництві, але в частині систем гарячого водопостачання менш надійні в експлуатації.

Відкриті схеми теплопостачання:

- 1) для джерела теплоти – дорожчі і складніші як у будівництві, так і в експлуатації;
- 2) для теплових мереж – дешевші в будівництві, але складніші в експлуатації;
- 3) для ТП споживачів теплоти – дешевші в будівництві й простіші в експлуатації;
- 4) для місцевих систем споживачів теплоти схеми рівноцінні в будівництві, однак у частині систем гарячого водопостачання більш надійні в експлуатації;
- 5) для системи господарсько-питного водопроводу міста – більш вигідні.

Теплопостачання за відкритою схемою веде до значної економії робочої сили в експлуатації системи теплопостачання в цілому, крім того, помітно подовжується термін служби місцевих систем гарячого водопостачання.

Схеми теплопостачання при використанні води як теплоносія підрозділяються за способом приєднання місцевих систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря на залежні й незалежні.

Залежними називають такі схеми, у яких місцеві системи споживачів теплоти приєднані безпосередньо (одноконтурно) до теплових мереж району без проміжних теплообмінників. При залежній схемі робота всіх елементів системи теплопостачання взаємозалежна, що виражається в наступному:

1) витоки теплоносія з усіх елементів системи тепlopостачання компенсуються централізовано підживленням, що здійснюється в джерелі теплоти;

2) у трубопроводах, що подають теплоносії від джерела теплоти, встановлюється єдина температура теплоносія;

3) тиск у трубопроводі, що подає теплоносії, і зворотному трубопроводі місцевих систем споживачів теплоті залежить від тиску в зовнішніх теплових мережах з урахуванням роботи пристроїв регулювання тиску, встановлених у теплових пунктах;

4) гідравлічні удари, що утворюються в одному з елементів системи тепlopостачання, деякою мірою відбиваються на її інших елементах;

5) регулювання роботи одного елемента системи тепlopостачання цілком позначається на роботі її інших елементів.

Незалежними називаються схеми приєднання місцевих систем опалення, вентиляції й кондиціонування повітря до теплових мереж району через проміжні теплообмінники (двоконтурні схеми).

Перший контур системи тепlopостачання за незалежною схемою включає районне джерело теплоти, теплові мережі і гріючу (первинну) частину підігрівачів центральних або індивідуальних ТП.

Другий контур охоплює частину підігрівачів ТП (вторинну), що нагріваються, і місцеві системи споживачів теплоти.

У кожному з контурів циркулює свій теплоносії, що має свій тиск, температуру та якість. При необхідності тиск у другому контурі може бути нижчий або вищий за тиск в першому контурі, але температура теплоносія другого контуру, що нагрівається, завжди нижча за перший (гріючий). Підживлення теплоносія другого контуру повинно здійснюватися за рахунок теплоносія першого контуру. Наповняється система другого контуру тільки теплоносієм першого контуру. Підживлення другого контуру за рахунок теплоносія першого контуру є технічно найкращим рішенням, оскільки вода цього контуру спеціально підготовлена в джерелі теплоти.

Застосування незалежної схеми може служити одним з основних заходів з метою:

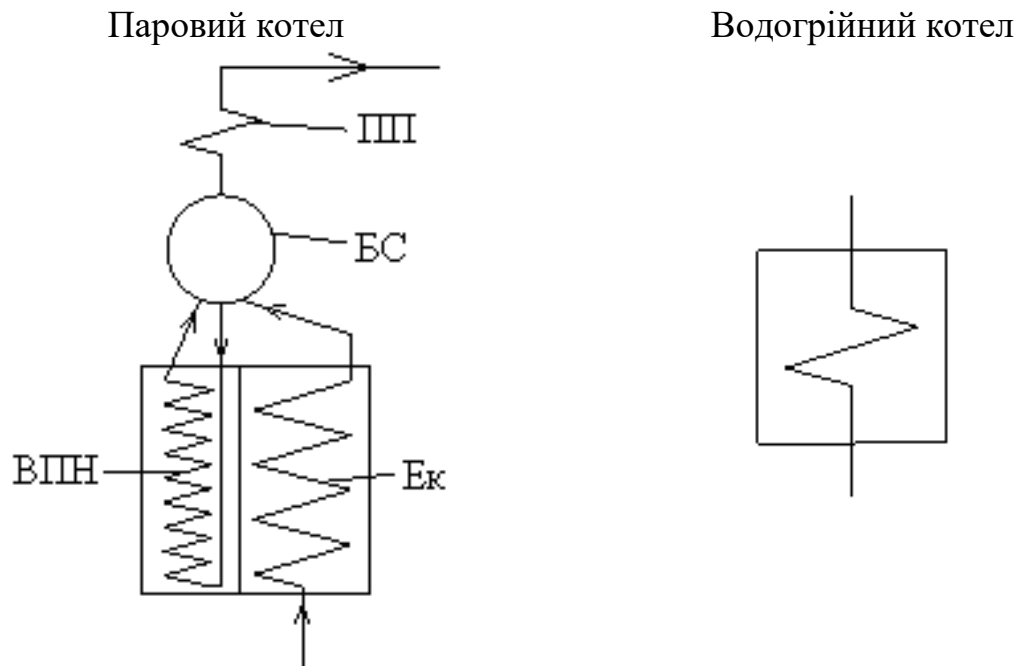
1) різкого скорочення аварій у системі тепlopостачання міста;
2) виключення впливу на місцеві системи хвильових процесів і ударів;
3) полегшення нестационарних гідравлічних режимів теплових мереж при аварійних переключеннях;

4) деякого зменшення витоків, полегшення водопідготовки і підживлення теплоносія в першому контурі системи тепlopостачання.

3.2. Приєднання котельних до теплових мереж систем теплопостачання

Прийняті позначення:

Котли:



Ек – економайзер; БС – барабан-сепаратор;
ВПН – випарні поверхні нагріву; ПП – пароперегрівач.

Інші позначення:

РОУ – редуційно-охолоджувальні установки;

ПЛТП – пряма лінія теплопостачання;

ЗЛТП – зворотна лінія теплопостачання.

На схему приєднання котельних до теплових мереж в основному впливають два чинники:

- 1) тип встановлених в котельні котлів і параметри теплоносія, що виробляється котлами;
- 2) вигляд і параметри теплоносія, який необхідний споживачу.

3.2.1. Приєднання парової котельні до парової системи теплопостачання

Пара з парового котла безпосередньо або через РОУ прямує до споживача (рис. 3.2). Конденсат, що повертається в котельню, поступає в деаератор. Втрати конденсату компенсуються хімічищеною водою, яка також подається в деаератор. Суміш конденсату і додаткової хімічищеної води після деаерації прямує в котел, як живильна вода.

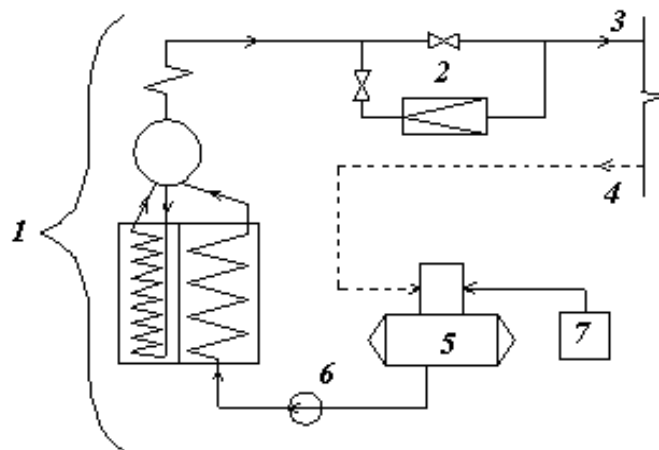


Рис. 3.2. Схема приєднання парової котельні до парової системи тепlopостачання:

1 – паровий котел; 2 – редукційно-охолоджувальна установка (РОУ) для зниження тиску і температури пари до значень, необхідних споживачу; 3 – подавальний паропровід; 4 – конденсатопровід для повернення в котельню конденсату, використаного у споживача пари; 5 – деаератор для видалення з живильної води розчинених в ній газів і, в першу чергу, кисню повітря; 6 – живильний насос; 7 – хімоводоочищення (ХВО) для підготовки хімоочищеної води, яка компенсує втрати конденсату.

3.2.2. Приєднання парової котельні до водяної системи тепlopостачання

Мережна вода, використана у споживачів, після підживлення і підвищення тиску в мережному насосі поступає в підігрівачі (рис. 3.3). Інтенсивність підживлення залежить від ступеня відхилення тиску мережної води в зворотній лінії від номінального значення.

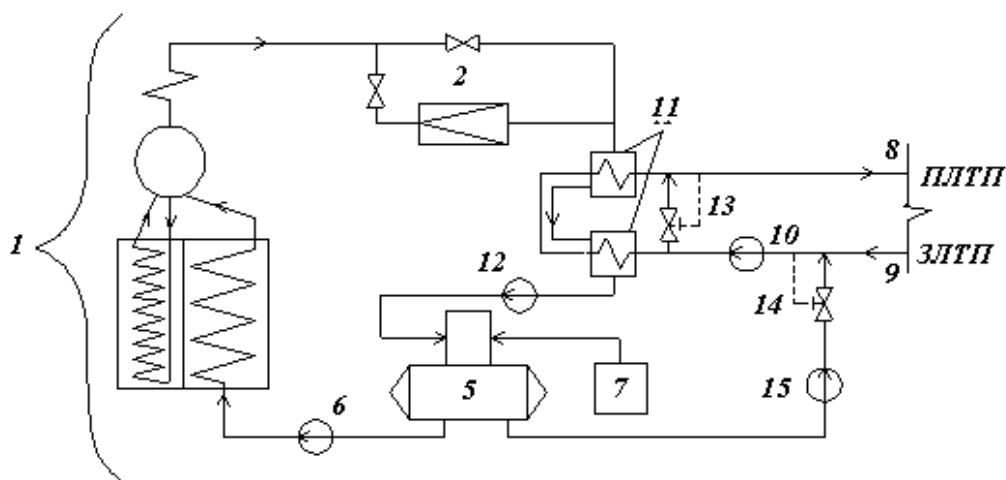


Рис. 3.3. Схема приєднання парової котельні до водяної системи тепlopостачання:

1, 2, 5, 6, 7 (див. рис. 3.2) 3 і 4 – відсутні; 8 і 9 – подавальна і зворотна лінія теплової мережі (ПЛТП і ЗЛТП); 10 – мережний насос для підвищення тиску мережної води з метою подолання опору мережних підігрівачів, теплової мережі й забезпечення тиску нагрітої мережної води відповідно до вимог споживачів; 11 – мережні підігрівачі (поверхневі пароводяні теплообмінники); 12 – дренажний насос для відведення конденсату грючої пари з теплообмінників; 13 – регулятор температури води в ЗЛТП; 14 – регулятор підживлення (регулятор тиску води в ЗЛТП); 15 – підживлювальний насос для подачі додаткової мережної води, яка компенсує втрати води у споживачів.

Пара з парового котла безпосередньо або через РОУ прямує в мережні підігрівачі, де нагріває воду й конденсується. Конденсат відводиться в деаератор.

Регулювання температури мережної води, що поступає в ПЛТП, здійснюється у бік зниження шляхом подачі води з ЗЛТП. Втрати конденсату й мережної води компенсуються додатковою хімоочищеною водою.

3.2.3. Приєднання парової котельні до пароводяної системи теплопостачання

Схема приєднання (рис. 3.4) є комбінацією двох попередніх схем (рис. 3.2 і 3.3).

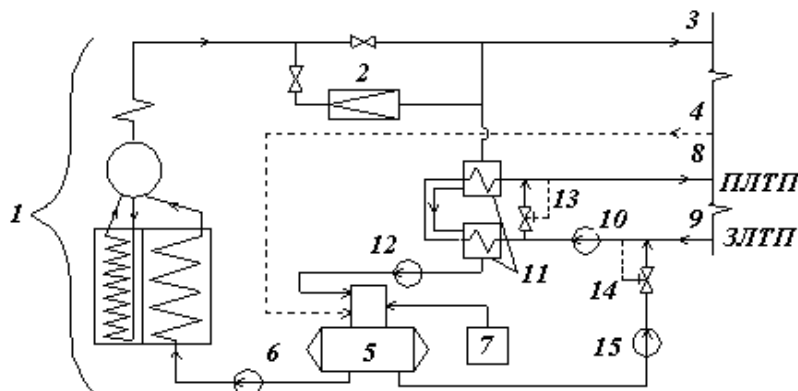


Рис. 3.4. Схема приєднання парової котельні до пароводяної системи теплопостачання: позначення див. рис. 3.2 і 3.3.

3.2.4. Приєднання водогрійної котельні до теплової мережі

Нагрівання мережної води у водогрійній котельні здійснюється безпосередньо в котлах без проміжних теплообмінників (рис.3.5).

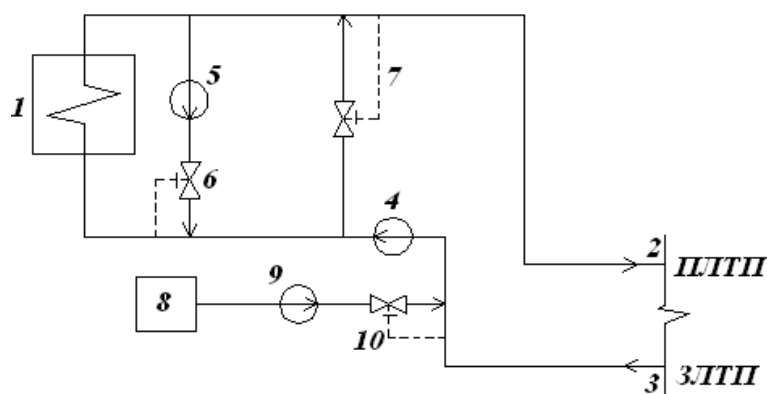


Рис. 3.5. Схема приєднання водогрійної котельні до теплової мережі:

1 – водогрійний котел; 2 і 3 – ПЛТП і ЗЛТП; 4 – мережний насос; 5 – рециркуляційний насос для часткової рециркуляції нагрітої в котлі води в потік мережної води на вході в котел з метою підтримання температури на вході в котел на певному рівні; 6 – регулятор температури води на вході в котел; 7 – регулятор температури води в ПЛТП; 8 – підготовка додаткової хімоочищеної і деаерованої води, яка компенсує втрати мережної води (ХВО і деаератор); 9 – підживлювальний насос; 10 – регулятор підживлення (регулятор тиску в ЗЛТП).

Мережна вода, що поступає в котельню з ЗЛТП, після підживлення і підвищення тиску в мережному насосі прямує в котел. Температура води на вході в котел підтримується на певному рівні ($60\div 65\text{ }^{\circ}\text{C}$) для виключення сірчанокислотної корозії хвостових поверхонь нагріву котла. Регулювання температури води в ПЛТП здійснюється у бік пониження температури шляхом подачі води з ЗЛТП.

3.2.5. Приєднання пароводогрійної котельні до теплової мережі

Схема приєднання залежить від типу встановлених в котельні котлів. Можливі такі варіанти:

- парові й водогрійні котли;
- пароводогрійні котли;
- парові, водогрійні й пароводогрійні котли;
- водогрійні й пароводогрійні котли;
- парові й пароводогрійні котли.

Схеми приєднання парових і водогрійних котлів, що входять до складу пароводогрійної котельні, аналогічні попереднім схемам (див. рис. 3.2-3.5).

Схеми приєднання пароводогрійних котлів залежать від їхньої конструкції. Можливі 2 варіанти:

I. Приєднання пароводогрійного котла з підігрівом мережної води усередині барабана котла (рис. 3.6).

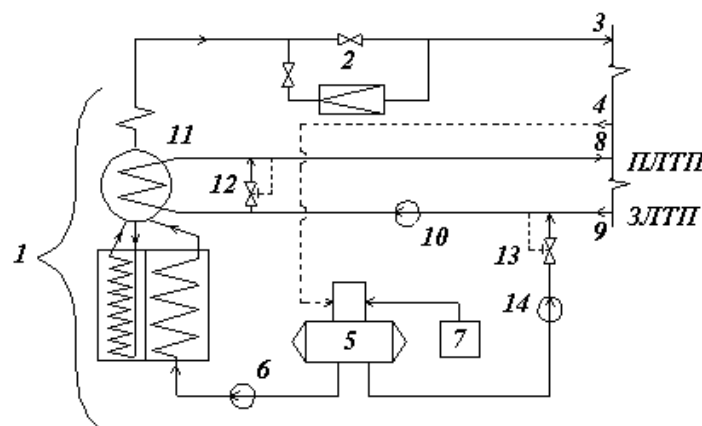


Рис. 3.6. Схема приєднання пароводогрійного котла з підігрівом мережної води усередині барабана котла:

1 – пароводогрійний котел; 2 – РОУ; 3 – подавальний паропровід; 4 – конденсатор; 5 – деаератор; 6 – живильний насос; 7 – ХВО; 8 і 9 – ПЛТП і ЗЛТП; 10 – мережний насос; 11 – вбудований в барабан котла підігрівач мережної води; 12 – регулятор температури води в ПЛТП; 13 – регулятор підживлення (регулятор тиску води в ЗЛТП); 14 – підживлювальний насос.

Вбудований в барабан котла підігрівач мережної води є теплообмінником змішувального типу (рис. 3.7).

Мережна вода поступає в барабан котла через заспокійливий короб в порожнину розподільного короба, що має перфороване ступінчасте днище (направляючий і барботажний листи). Перфорація забезпечує струменеву течію води назустріч пароводяній суміші, що поступає з випарних поверхонь нагріву котла, що приводить до нагріву води.

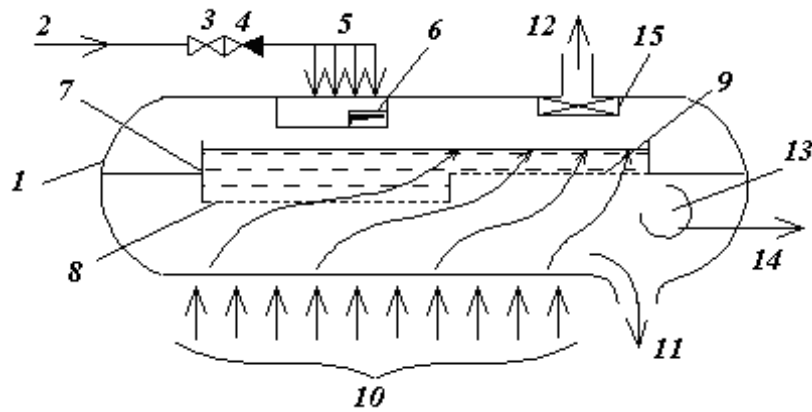


Рис. 3.7. Вбудований в барабан котла підігрівач мережної води:

1 – корпус барабану котла; 2 – вода з ЗЛТП; 3 і 4 – замковий і зворотний клапани; 5 – колектор; 6 – заспокійливий короб; 7 – розподільний короб, що має ступінчасте перфороване днище; 8 – направляючий лист; 9 – барботажний лист; 10 – пароводяна суміш від випарних поверхонь нагріву котла; 11 – повернення води у випарні поверхні нагріву; 12 – вихід насиченої пари в пароперегрівач; 13 – пристрій сепарації, наприклад, сталевий перфорований лист; 14 – жолоб для відбору мережної води; 15 – подача води в ПЛТП.

Теплопродуктивність котла Q_k складається з двох складових (теплоти мережної нагрітої води і теплоти пари):

$$Q_k = M_c (h_2 - h_1) + D_n (h_n - h_{жсв}), \quad (3.1)$$

де M_c – масова витрата мережної води, що нагрівається;

h_1 і h_2 – ентальпії води до і після нагріву;

D_n – паропроодуктивність котла;

h_n – ентальпія пари;

$h_{жсв}$ – ентальпія живильної води;

Після перетворення (3.1):

$$M_c = \frac{Q_k - D_n (h_n - h_{жсв})}{h_2 - h_1}. \quad (3.2)$$

З рівняння (3.2) виходить, що витрата води M_c , що нагрівається, і паропроодуктивність котла D_n , взаємозв'язані: при $Q_k = \text{const}$ зі збільшенням паропроодуктивності зменшується витрата мережної води, а зі зменшенням паропроодуктивності витрата мережної води збільшується.

Співвідношення між витратою пари і кількістю води, що нагрівається, може бути різним, проте витрата пари повинна бути не менше 2 % від загальної маси пари і води для можливості виходу з котла повітря та інших фаз, що не конденсуються.

II. Приєднання пароводогрійного котла з підігрівом мережної води у вбудованих в газохід котла поверхнях нагріву (рис. 3.8).

Поверхні нагріву мережного підігрівача розміщуються в газоході котла поряд з економайзером у вигляді додаткової секції. У літній період, коли

відсутнє опалювальне навантаження, вбудований мережний підігрівач виконує функцію секції економайзера.

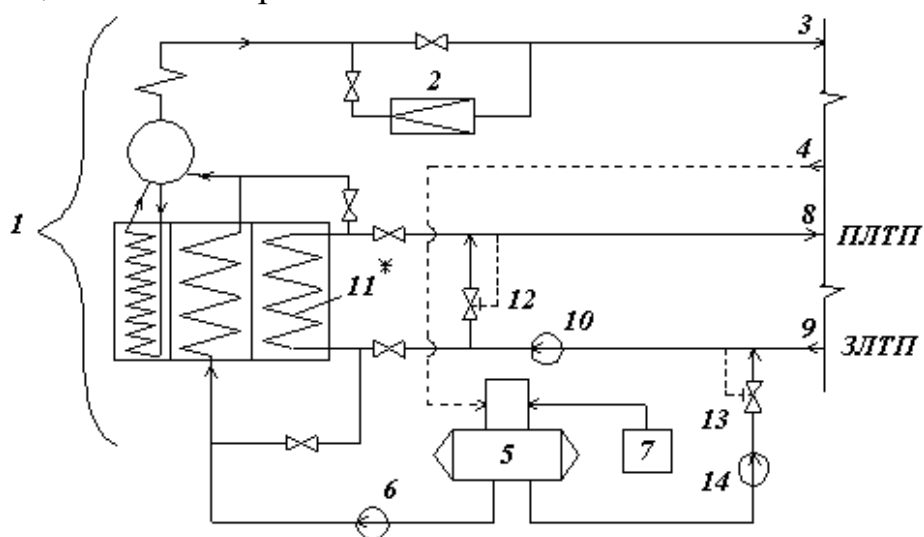


Рис. 3.8. Схема приєднання пароводогрійного котла з підігрівом мережної води у вбудованих в газохід котла поверхнях нагріву:

11* – підігрівач мережної води, виконаний у вигляді поверхневого теплообмінника, вбудованого в газохід котла; решта позначень та ж, що і на рис. 3.6.

3.3. Трубопроводи

3.3.1. Трубопроводи та їхня категорійність

Трубопроводи – невід'ємна частина технологічного устаткування [1, 6, 9]. Вони підрозділяються на внутрішньоцехові, які з'єднують апарати і установки, та міжцехові – з'єднують устаткування, встановлене в різних цехах. За розташуванням можуть бути наземними й підземними. Трубопровід – конструкція, яка складається з ряду елементів: труб, арматури, роз'ємних і нероз'ємних з'єднань. Труби й арматуру виготовляють і постачають відповідно до державних і галузевих норм. Трубопроводи характеризуються умовним проходом і умовним тиском. Номінальний діаметр отвору в трубі або арматури – умовний прохід, D_y .

D_y : 3; 5; 10; 15; 20; 25; 32; 40; 50; 65; 80; 100; 125; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 500; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600; 2000; 2400; 3000; 3400; 4000.

Під умовним тиском P_y мають на увазі максимальний надлишковий тиск середовища при $t=20^\circ\text{C}$, при якому забезпечується тривала експлуатація. P_y : 0,1; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 64; 80; 100. В залежності від властивостей середовища, що транспортується, трубопроводи ділять на п'ять груп (А, Б, В, Г, Д), а за тиском і температурою на п'ять категорій (І, ІІ, ІІІ, ІV, V). Групи включають трубопроводи: А – для токсичних рідких і газоподібних продуктів; Б – для горючих і активних газів; В – для водяної перегрітої пари; Г – для водяної насиченої пари і парового конденсату; Д – для негорючих газів, рідин і пари. У межах кожної групи трубопроводи поділені на категорії. Для кожної категорії встановлені норми проектування, монтажу й ремонту. Так, у групі Б для перекачування легкозаймистих рідин при

температурі 350÷700 °С потрібний трубопровід категорії I, а при температурі від -150 до 120 – трубопровід категорії IV.

3.3.2. Труби, деталі, компенсатори, опори

Труби та їхні з'єднання.

Техніка транспортування теплоти пред'являє такі основні вимоги до труб, вживаних для теплопроводів:

- достатня механічна міцність і герметичність при наявному тиску теплоносія;
- еластичність і стійкість проти термічних напруг при змінному тепловому режимі;
- постійність механічних властивостей;
- стійкість проти зовнішньої і внутрішньої корозії;
- мала шорсткість внутрішніх поверхонь;
- відсутність ерозії внутрішніх поверхонь;
- малий коефіцієнт температурних деформацій;
- високі теплоізоляційні властивості стінок труби;
- простота, надійність і герметичність з'єднання окремих елементів;
- простота зберігання, транспортування й монтажу.

Всі відомі до теперішнього часу типи труб одночасно не задовольняють всім перерахованим вимогам. Зокрема, цим вимогам не цілком задовольняють сталеві труби, використані для транспортування пари і гарячої води. Проте високі механічні властивості і еластичність сталевих труб, а також простота, надійність і герметичність з'єднань (зварювання) забезпечили широке застосування цих труб в системах централізованого теплопостачання.

Основні типи сталевих труб, використаних для теплових мереж:

- діаметром до 400 мм включно – безшовні, гарячекатані;
- діаметром вище 400 мм – електрозварювання з подовжнім швом і електрозварювання із спіральним швом.

Трубопроводи теплових мереж з'єднуються між собою за допомогою електричного або газового зварювання. Для водяних теплових мереж перевага віддається сталям марок Ст2сп і Ст3сп.

Схема трубопроводів, розміщення опор і компенсуючих пристроїв повинні бути вибрані так, щоб сумарна напруга від усіх одночасно діючих навантажень в жодному перерізі трубопроводу не перевершувала те, що допускається. Найслабкішим місцем сталевих трубопроводів, по якому слід вести перевірку напруг, є зварні шви.

Для трубопроводів використовують сталеві зварні й безшовні труби: гарячекатані, холоднокатані й холоднотягнуті. Зварні виконуються з подовжнім або спіральним зварним швом, вони менш надійні в роботі, ніж безшовні. Безшовні застосовують для транспортування отруйних, вибухонебезпечних і корозійно-активних речовин. Матеріалом для труб масового призначення служить сталь 10, 20, спеціального призначення – леговані, кислотостійкі, жароміцні сталі. Застосовують чавун, мідь, латунь, бронзу, скло, фарфор,

пластмасу, свинець. Труби з вініласту, фаоліту, поліетилену стійкі до агресивних середовищ, але не при високій температурі. Так, температурна межа використання вініластових труб – 40 °С, поліпропіленових – 100 °С, а труб з фаоліту – 110 °С. Застосовується внутрішнє покриття цими матеріалами. Широке застосування останнім часом мають титанові труби. Добре освоєні промисловістю труби, внутрішня поверхня яких вкрита гумою (гумовані).

До з'єднувальних деталей відносять: коліна, переходи – трійники, хрестовини, розвилки. Коліна призначені для зміни напрямку трубопроводу; переходи – для зміни площі прохідного перерізу; трійники, хрестовини й розвилки – для відгалуження труб у різні боки. Найчастіше елементи й трубопроводи з'єднують зварюванням, проте застосовуються також різьбові та фланцеві з'єднання. Фланці в основному приварні, різьбові використовують на трубопроводах високого тиску.

Компенсатори.

Для компенсації температурних подовжень трубопроводи забезпечують компенсаторами.

За принципом дії компенсатори розділяються на радіальні та осьові.

Радіальні компенсатори дозволяють переміщення трубопроводу і в осьовому, і в радіальному напрямках. При радіальній компенсації термічна деформація трубопроводу сприймається за рахунок вигину еластичних вставок або окремих ділянок самого трубопроводу.

Радіальні компенсатори бувають П-подібними, U-подібними, S-подібними (рис. 3.9). Їх застосовують на наземних трубах, проте вони громіздкі й вимагають спеціальних опор.

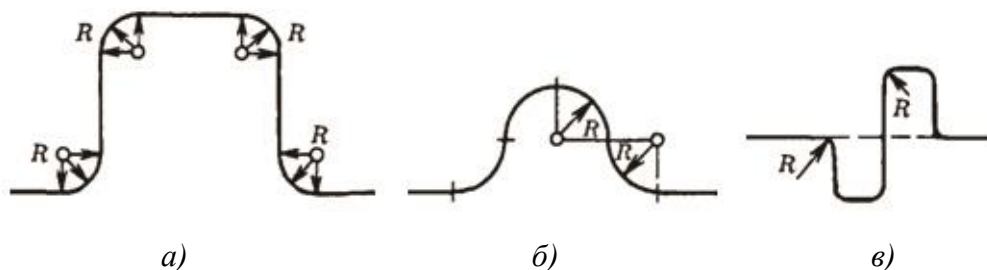


Рис. 3.9. Радіальні компенсатори:

а) П-подібний; б) U-подібний; в) S-подібний.

Переваги – простота будови, надійність, розвантаження нерухомих опор від зусиль внутрішнього тиску. Недолік – поперечне переміщення ділянок, що деформуються. Це вимагає збільшення перерізу непрохідних каналів і ускладнює застосування засипних ізоляцій і безканальної прокладки.

Осьові компенсатори допускають переміщення трубопроводу тільки у напрямку осі. Виконуються ковзаючого типу – сальникові й пружні – лінзові (сильфонні).

Лінзові встановлюють на газопроводах при тиску P до 1,6 МПа. Хвилясті (рис. 3.10) використовують для трубопроводів з неагресивними і середньо-агресивними середовищами при P до 6,4 МПа. Такий компенсатор складається

з гофрованого гнучкого елемента 4, кінці якого приварені до патрубків 1. У западинах хвилі встановлені обмежувальні кільця 3 для запобігання випинання елемента. Ззовні гнучкий елемент захищений кожухом 2, всередині якого розміщений стакан 5 для зменшення гідравлічного опору компенсатора.

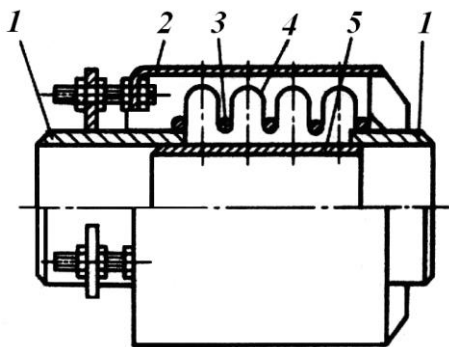


Рис. 3.10. Хвилястий компенсатор:

1 – патрубки; 2 – кожух; 3 – обмежувальні кільця; 4 – гофрований гнучкий елемент; 5 – стакан.

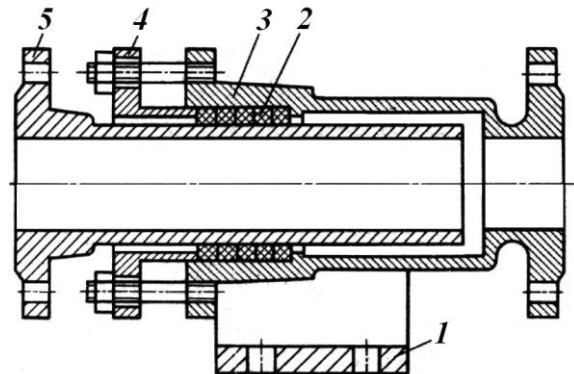


Рис. 3.11. Сальниковий компенсатор:

1 – опора; 2 – набивка; 3 – корпус; 4 – грандбукса; 5 – внутрішня труба.

На трубопроводах з чавуну і неметалевих матеріалів встановлюють сальникові компенсатори (рис. 3.11), проте вони важко забезпечують герметизацію при транспортуванні. Сальникові компенсатори складаються з корпусу 3, закріпленого на опорі 1, набивки 2 і грандбукси 4. Компенсація температурних деформацій відбувається за рахунок взаємного переміщення корпусу 3 і внутрішньої труби 5. Сальникові компенсатори не використовують для горючих, токсичних та зріджених газів, оскільки вони не можуть забезпечити потрібну герметичність.

Опори.

Опори є відповідальними деталями теплопроводу. Вони сприймають зусилля від трубопроводів і передають їх на несучі конструкції або ґрунт.

Відстань між опорами визначається діаметром і матеріалом труби. Для сталевих труб з діаметром до 250 мм довжина складає 3÷6 м. Для кріплення трубопроводів застосовують підвіски, хомути і скоби. Трубопроводи з крихких матеріалів (скло, графіт) укладають у суцільних лотках на суцільних основах. Опори можуть бути нерухомими та рухомими. Опора складається з куточків (основа), башмака (стійка) і хомута.

При спорудженні теплопроводів застосовують опори двох типів: нерухомі (рис. 3.12, а) і вільні (рухомі) (рис. 3.12, б). Останні забезпечують компенсацію температурних деформацій трубопроводу. В нерухомих опорах кутки 1, хомут 2 і башмак 3 жорстко зв'язані між собою. В рухомих опорах замість нижнього болта 4 поставлений ролик 5, який може вільно переміщатися в отворах опорної пластини. Такі опори необхідно періодично змащувати.

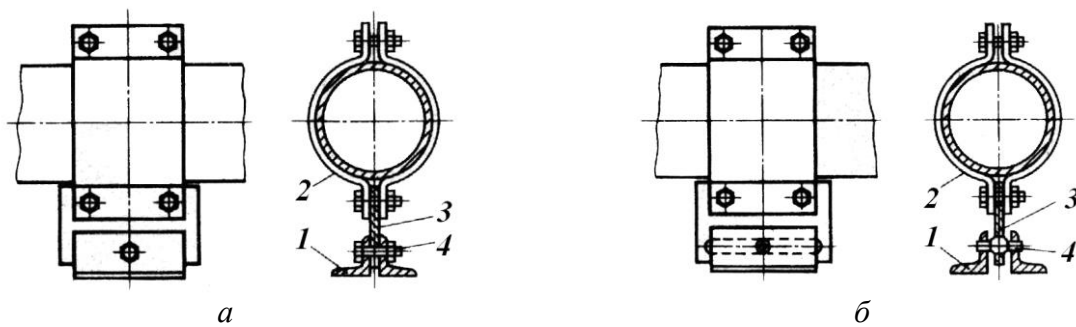


Рис. 3.12. Деталі опор:

а – нерухома : 1 – кутки; 2 – хомут; 3- башмак; 4 – болти;
б – рухома: 1 – кутки; 2 – хомут; 3 – башмак; 4 – ролики.

При безканалній прокладці зазвичай відмовляються від установки вільних опор під трубопроводами, щоб уникнути нерівномірних посадок і додаткових згинаючих напруг. У цих теплопроводах труби укладаються на незайманий ґрунт або ретельно утрамбований шар піску. При розрахунку згинаючих напруг і деформацій трубопровід, що лежить на вільних опорах, розглядається як багатопролітна балка.

За принципом роботи вільні опори діляться на ковзаючі, роликові, коткові та підвісні (рис. 3.13).

При виборі типу опор слід не тільки керуватися значенням розрахункових зусиль, але й враховувати роботу опор в умовах експлуатації. Із збільшенням діаметрів трубопроводів різко зростають сили тертя на опорах.

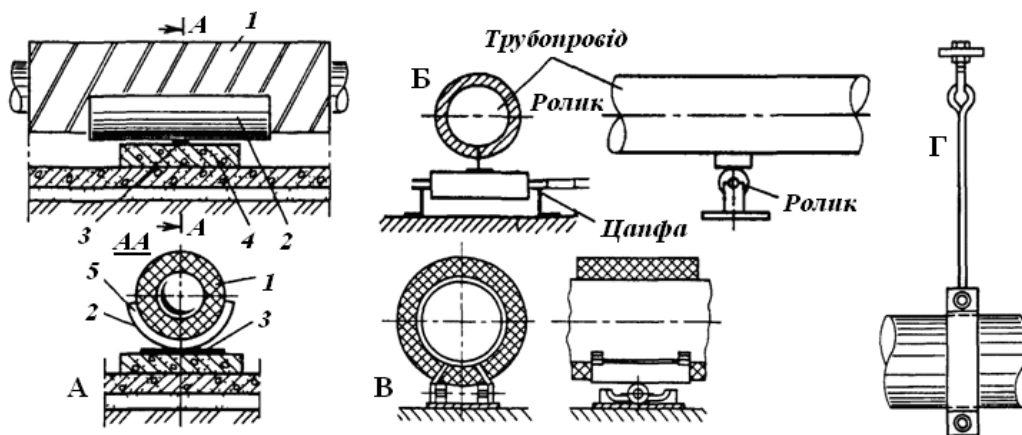


Рис. 3.13. Типи опор:

А – ковзаюча опора: 1 – теплова ізоляція; 2 – опорний напівциліндр; 3 – сталева скоба;
 4 – бетонний камінь; 5 – цементно-піщаний розчин;
Б – роликова опора; *В* – коткова опора; *Г* – підвісна опора.

В деяких випадках, коли за умов розміщення трубопроводів щодо несучих конструкцій ковзаючі й коткові опори не можуть бути встановлені, застосовуються підвісні опори. Недоліком простих підвісних опор є деформація труб унаслідок різної амплітуди підвісок, що знаходяться на різній відстані від нерухомої опори, через різні кути повороту. У міру видалення від нерухомої опори зростають температурна деформація трубопроводу і кут повороту підвісок.

3.3.3. Трубопроводна арматура

Арматурою називають пристрої, які встановлюються на трубопроводах, апаратах, ємностях з метою управління потоком робочих середовищ. Арматура поділяється на класи: запірна – перекриття потоку; регулююча – зміна параметрів середовища; запобіжна – запобігання аварійному підвищенню тиску в системі; захисна (відсічна) – захист устаткування від аварійної зміни параметрів; фазоподільна – видалення конденсату. Арматура будь-якого класу включає: корпус, привод і робочий орган. За способом приєднання до трубопроводу: фланцева, муфтова, під приварювання. Муфтова використовується в трубопроводах з діаметром, що перевищує 80 мм; приварна встановлюється при підвищених вимогах до щільності з'єднання. За конструкцією корпусу: прохідна – середовище не змінює напрямку руху; кутова – змінюється напрям руху. За способом герметизації робочого органу арматуру поділяють на сальникову, сальфонну та мембранну. За конструкцією приводу арматура буває автоматично діюча, в якій привод здійснюється потоком середовища; з ручним або механічним приводом.

3.3.4. Запірна арматура

Запірна арматура включає крани, вентиля, засувки, заслінки. У *крані* запірний орган виконується у вигляді тіла обертання навколо осі, перпендикулярній напрямку руху потоку. За типом затвору крани бувають кульовими й пробковими.

Кульовий кран (рис. 3.14) складається з корпусу 1, кульової пробки 2 і шпинделя 3. При повороті пробки 2 на 90° переріз для проходу потоку перекривається. У пробкових кранах пробка має вигляд усіченого конусу. За способом герметизації пробкові крани можуть бути сальниковими або натяжними. Щільність прилягання пробки до прохідного перерізу в сальникових кранах забезпечується сальником, а в натяжних кранах – гайкою.

Сальниковий пробковий кран (рис. 3.15, а) складається з корпусу 1, пробки 2 і сальника 3 (з промасляного льону, азбестового шнура і т.ін.). В натяжних пробкових кранах основними елементами є пробка 1, що вставляється всередину корпусу 2, та гайка 3. Натяжні крани не можуть забезпечити необхідну герметизацію, що перевищує соті частки МПа. Крани мають малі розміри й невеликі гідравлічні опори. Крани з трьома патрубками називаються триходовими, при цьому пробка має Т-подібний отвір. Такі крани непридатні для пари і нагрітої рідини внаслідок можливого короблення корпусу і прилипання до нього пробки. Виготовляються з чавуну, сталі або латуні.

Описані крани називаються прохідними, оскільки вони з'єднують два патрубки. Кран швидко закривається, в результаті чого у трубопроводі може виникнути гідроудар.

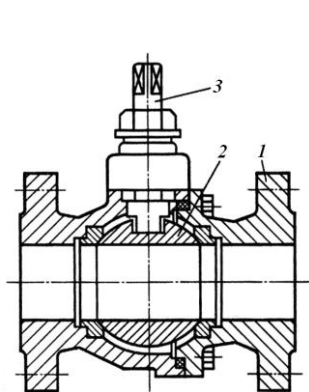


Рис. 3.14. Кульовий кран:

- 1 – корпус; 2 – кульова пробка;
3 – шпindel.

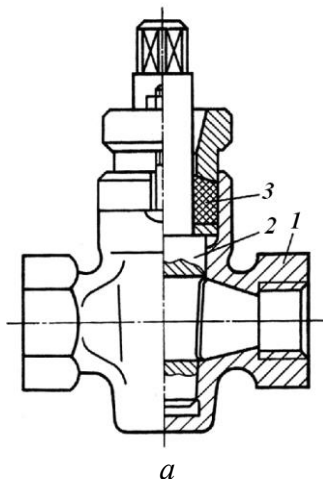
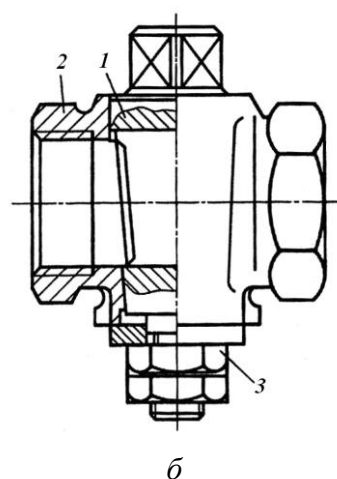


Рис. 3.15. Пробкові крани:

- а – сальниковий пробковий кран: 1 – корпус; 2 – пробка;
3 – сальник;
б – натяжний пробковий кран: 1 – пробка; 2 – корпус; 3 – гайка.



Вентилі. У прохідному вентилі (рис. 3.16) всередині корпусу 1 прохідний отвір 8 для рідини або газу перекривається ущільнюючим кільцем 2 з фторопласту, шкіри або гуми. Кільце гайкою 9 та шайбою 10 притискається до нижнього кільця шпинделя 6, який за допомогою маховика 7 може здійснювати поворотно-поступальний рух вверх-вниз. Корпус закривається кришкою 5, герметизація забезпечується прокладкою 4. Коли шток підіймається уверх, то золотник відкриває прохідний отвір для середовища, а коли опускається вниз, то перекриває його рух. Зміна витрати середовища регулюється величиною перерізу прохідного отвору. Вентилі на трубопроводах розташовують так, щоб середовище в них входило з під золотника.

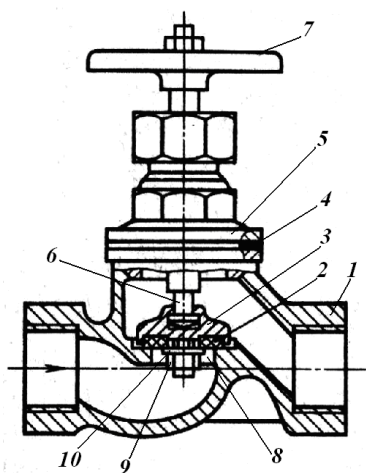


Рис. 3.16. Прохідний вентиль:

- 1 – корпус; 2 – ущільнююче кільце; 3 – золотник;
4 – прокладка; 5 – кришка;
6 – шпindel (шток);
7 – маховик; 8 – прохідний отвір; 9 – гайка; 10 – шайба.

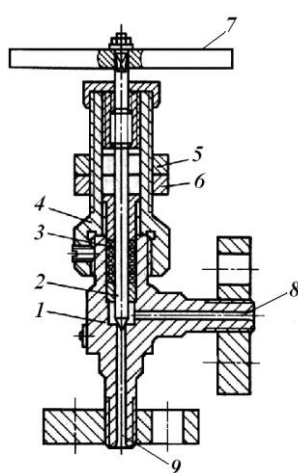


Рис. 3.17. Запірний кутовий вентиль:

- 1 – корпус; 2 – голка;
3 – набивка сальника;
4 – стійка; 5 – контргайка;
6 – натискна гайка;
7 – маховик; 8 – вхідний канал;
9 – вихідний канал.

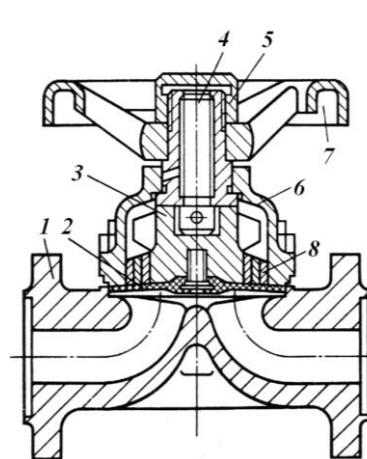


Рис. 3.18. Мембранний вентиль:

- 1 – корпус; 2 – мембрана;
3 – золотник; 4 – шпindel;
5 – гайка; 6 – кришка;
7 – маховик;
8 – опорне кільце.

У трубопроводах і установках високого тиску використовуються запірні кутові вентиля (рис. 3.17). Закриття й відкриття проходу в них здійснюється конусним золотником. Запірний кутовий ventиль високого тиску виконується як запірний елемент системи вимірювань і пробовимірних систем в установках синтезу високого тиску. В корпусі 1 розміщена голка 2, що за допомогою маховика 7 переміщується вгору або вниз, змінюючи при цьому величину прохідного перерізу вихідного каналу 9. Газ або рідина надходять у ventиль по вхідному каналу 8. Герметизація голки забезпечується сальниковою набивкою 3, яка ущільнюється натискною гайкою 6, що рухається по різьбі на стійці 4. Самовільне обертання гайки 6 стримується контргайкою 5.

Мембранний ventиль (рис. 3.18) призначений для агресивних середовищ. В них запірним органом служить мембрана 2, що виготовляється з пластмаси, гуми або фторопласту. Вона з'єднана з золотником 3, який закріплений на шпинделі 4. Внутрішня поверхня корпусу має захисне покриття, наприклад, з кислотостійкої емалі. Корпус ventиля 1 закривається кришкою 6. При обертанні маховика шпиндель рухається вгору або вниз, через золотник діє на мембрану, яка змінює прохідний переріз для середовища між вхідним та вихідним каналами, при цьому змінюється витрата рідини або газу.

Засувки являють собою арматуру, у якій затвор, виготовлений у вигляді диска або клина, переміщається уздовж поверхонь ущільнювачів перпендикулярно потоку. При малому тиску використовують паралельні засувки з висувним шпинделем, при великих – клинові з нерухомим шпинделем (рис. 3.19). Клинова засувка з висувним шпинделем (рис. 3.20) складається з корпусу 3, клину 2, сидла 1, шпинделя 6 і маховика 11, ходової гайки 4, прокладки 5, кришки 7, сальника 9 та натискної втулки 10.

При обертанні шпиндель вкручується у тіло клину, який піднімається. Піднімання та опускання клину змінює переріз прохідного отвору між вхідними й вихідними потоками середовища. Витрата потоку при цьому змінюється. Клин переміщується уздовж ущільнюючих кілець 1. Корпус 3 закривається зверху кришкою 7 через прокладку 5. Шпиндель вкручується у ходову гайку 4. Герметичність засувки забезпечується сальником 9, який ущільнюється натискною втулкою 10. В паралельних засувках (рис. 3.18) у корпусі 1 встановлений запірний орган – шибєр, що складається з двох симетричних тарілок 3, між якими поміщається клин 2. При опусканні клину він розпирає тарілки шибєру, притискаючи їх до ущільнюючих поверхонь корпусу 3. Для закривання або відкривання засувок необхідна велика кількість обертів шпинделя, тому засувки великого діаметру постачають, як правило, електроприводом, а паралельні засувки для водопроводів виконуються з пневмо- або гідроприводом.

Заслінками називають арматуру, в якій затвор виконаний у вигляді диска, що повертається на осі, перпендикулярній потоку. Вони використовуються при великих діаметрах трубопроводів, малому тиску середовища і не жорстких вимогах до герметичності запірного органу. Ущільнюючим органом служить гумове кільце, розташоване по ободу диска. Сталева дискова засувка для водогонів (рис. 3.21) (при температурі 80 °С)

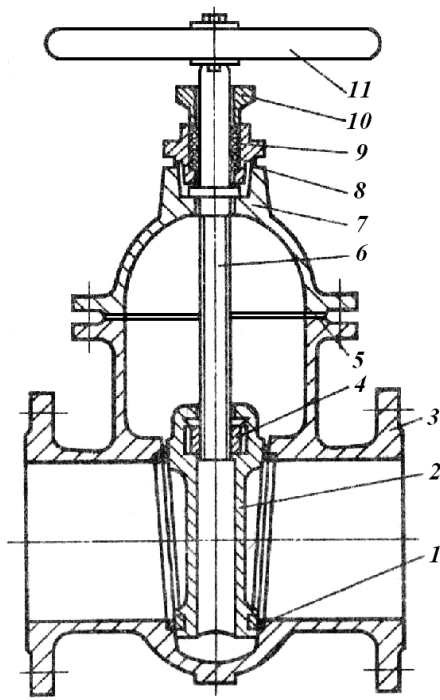


Рис. 3.19. Клинова засувка з нерухомим шпинделем:

1 – сідло; 2 – клин; 3 – корпус; 4 – ходова гайка;
5 – прокладка; 6 – шпindel; 7 – кришка; 8 – прокладка;
9 – сальник; 10 – натискна втулка; 11 – маховик.

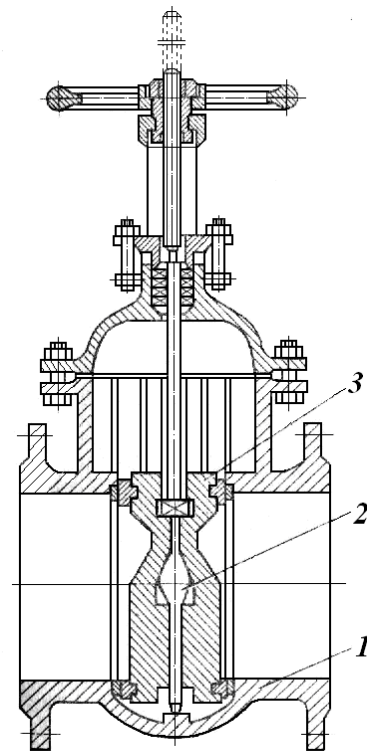


Рис. 3.20. Засувка паралельна з висувним шпинделем:

1 – корпус; 2 – клин; 3 – тарілки.

встановлюється як на горизонтальних, так і вертикальних ділянках. У ній ущільнення робочого органу диску 5, що повертається навколо осі 4, забезпечується гумовим кільцем 10. яке встановлюється в канавці диску і закріплене натискним кільцем 3. Рухоме з'єднання валу 8 з корпусом 2 ущільнюється сальником.

3.3.5. Регулювальна арматура

До неї відносяться регулювальні клапани, вентиля, змішувальні клапани, редукційні клапани та регулятори рівня. В системах автоматичного регулювання регулювальні клапани змінюють витрату середовища.

Регулювальний клапан з мембранним виконавчим механізмом (рис. 3.22) складається з корпусу 1, затворів 2, штоку 3, виконавчого механізму 4, мембрани 5 і сідел 6. Управління клапаном дистанційне: командний сигнал поступає на мембрану 5, створюючи зусилля, яке переміщає шток 3 із затворами 2.

Змішувальні клапани використовують для змішування різних середовищ в певній пропорції. Змішувальна апаратура є частиною регулювальної. Командний сигнал, який задає положення затвору, визначає одночасно й зміну витрати середовищ. Регулювальні та змішувальні клапани мають електричний або пневматичний виконавчий механізм.

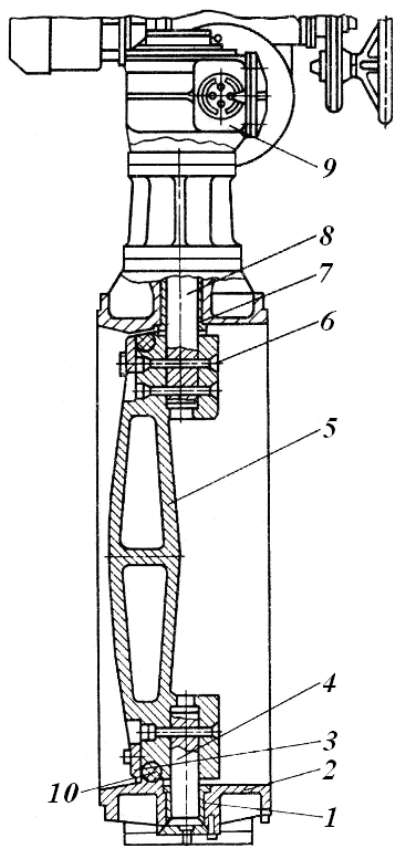


Рис. 3.21. Заслінка дискова:

1, 7 – підшипники; 2 – корпус; 3 – кільце притискне; 4 – вісь; 5 – диск; 6 – штифт; 8 – вал; 9 – електропривод; 10 – кільце гумове.

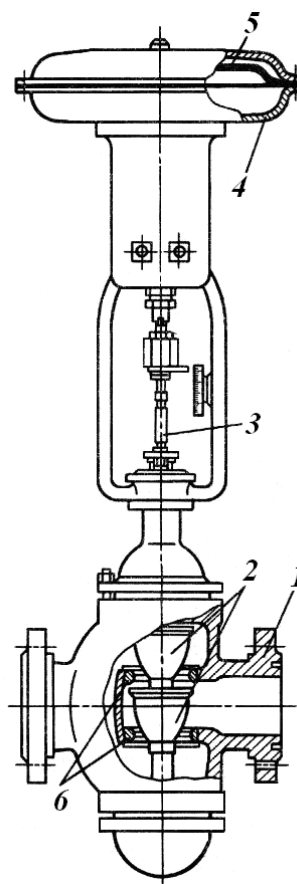


Рис. 3.22. Регулювальний клапан з мембранним виконавчим механізмом:

1 – корпус; 2 – затвори; 3 – шток; 4 – виконавчий механізм; 5 – мембрана; 6 – сідла.

3.3.6. Фазорозподільна арматура

До такої арматури відноситься конденсатовідвідники [1], які використовуються для виведення з трубопровідної арматури конденсату. Працюють вони автономно, випускаючи конденсат у міру його накопичення. Принцип дії заснований на різниці температур або густин пари й конденсату. Використовуються в основному термостатичні й поплавкові конденсатовідвідники. У термостатичному конденсатовідвіднику робочим органом є сильфон, заповнений рідиною і зв'язаний із золотником. Зі зниженням температури конденсату зменшується тиск у сильфоні, золотник піднімається і випускає конденсат. З надходженням пари тиск у сильфоні підвищується і золотник перекриває сідло арматури. У поплавкових конденсатовідвідниках робочим органом є поплавок, який змінює своє положення в залежності від рівня конденсату в корпусі.

3.3.7. Запобіжна арматура

Виключає можливість перевищення тиску в системі. Запобіжні клапани поділяються на важільно-вантажні й пружинні. У важільно-вантажних золотник клапану притиснутий вантажем, розміщеним на важелі. Він відкривається

тільки тоді, коли сила тиску перевищує силу вантажу. В пружинних клапанах сила тиску повинна перевищувати силу пружини. Вантажні клапани встановлюють тільки при вертикальному положенні золотника, пружинні – у будь-якому положенні. Як запобіжна арматура використовуються й розривні мембрани.

Запобіжний *важільно-вантажний клапан* встановлюється нижнім штуцером на трубопроводі або апараті (рис. 3.23). Тиск на золотник 6 клапана регулюють зміною кількості вантажу 1, що встановлений на важелі 2. Золотник закріплений на нижньому кінці штока 4, а його верхній кінець упирається у важіль 2. Корпус 5 закривається кришкою 3.

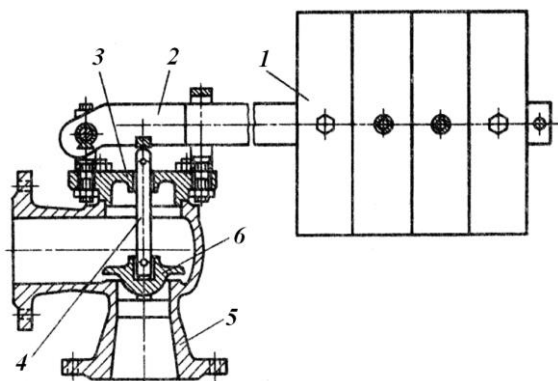


Рис. 3.23. Важільно-вантажний клапан:

1 – вантаж; 2 – важіль; 3 – кришка; 4 – шток;
5 – корпус; 6 – золотник.

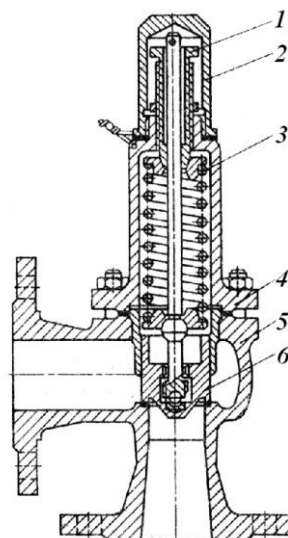


Рис. 3.24. Пружинний клапан:

1 – різьбова втулка; 2 – ковпак; 3 – пружина;
4 – кришка; 5 – корпус; 6 – золотник.

При перевищенні тиску, що діє на золотник, в трубопроводі або апараті вище допустимого, важіль з вантажем піднімається, відкриваючи доступ середовища до вхідного патрубку. Викидання речовини зменшує тиск. Вантажні клапани встановлюють тільки при такому положенні, коли золотник строго вертикальний. Він не має сальника, тому його не можна встановлювати всередині приміщень, а також на трубопроводах для транспортування вогнебезпечних середовищ.

Пружинні клапани (рис. 3.24) монтують у будь-якому положенні. Тиск на золотник клапана змінюють силою натискання пружини 3 під дією різьбової втулки 1. Пружина і втулка закриваються ковпаком 2, що приєднується до кришки 4. Пружина тисне на золотник 6. При перевищенні тиску вище за допустимий золотник піднімається і випускає частину середовища, наприклад, в атмосферу. Тиск в апараті або трубопроводі зменшується.

Розривні мембрани встановлюють на трубопроводах, що спрацьовують при підвищенні робочого тиску на 20÷25%. Мембрани забезпечують високу герметичність, а також надійність спрацювання. Їхнім недоліком є одноразове використання.

До захисної (відсічної) арматури відносять зворотні клапани – підйомні й поворотні. Зворотні клапани захищають систему від зворотного потоку.

У зворотному підйомному клапані (рис. 3.25) середовище, долаючи вагу золотника 2, рухається в одному напрямку. З припиненням подачі середовища золотник опускається на сідло і не пропускає потік у зворотному напрямку. У поворотних клапанах (рис. 3.26) переріз закривається диском 2, який повертається навколо горизонтальної осі 4. При зміні напрямку руху потоку диск закриває прохідний переріз.

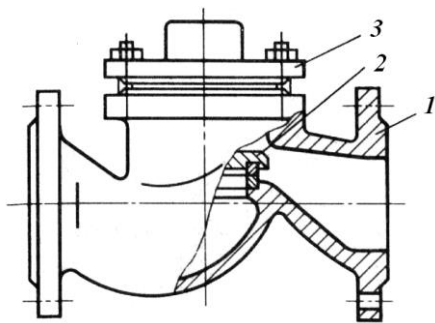


Рис. 3.25. Зворотний підйомний клапан:

1 – корпус; 2 – золотник; 3 – кришка.

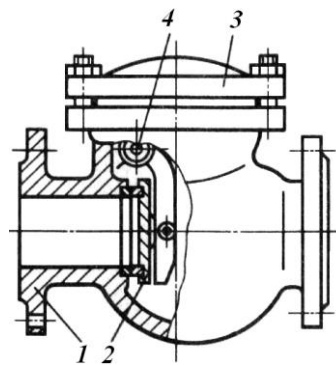


Рис. 3.26. Зворотний поворотний клапан:

1 – корпус; 2 – диск; 3 – кришка; 4 – вісь.

3.3.8. Рекомендації щодо встановлення арматури

Вентилі рекомендується встановлювати на трубопроводах діаметром до 50 мм, засувки – від 50 мм і більше. При вимозі проведення ручного дроселювання вентилі можуть встановлюватися і на трубопроводах діаметром більше за 50 мм. Перевага вентилів – відсутність тертя на ущільнюючих поверхнях, тому їх встановлюють на трубопроводах високого тиску.

Крани використовують при вимозі незначного гідравлічного опору і коли треба управляти кількома потоками.

Дискові заслінки встановлюють на трубопроводах для рідких та газоподібних неагресивних середовищ з температурою до 80 °С при умовному проході до 2000 мм і тиску до 1,6 МПа.

При виборі матеріалу арматури перш за все враховують властивості середовища, що транспортується. Для горючих, токсичних, пожежо- й вибухонебезпечних середовищ, зріджених газів використовують сталеву арматуру. На трубопроводах, що працюють при *температурах* нижче -40 °С встановлюється арматура з легованих сталей. Арматура з ковкого чавуну використовується на газопроводах, що працюють при температурах від -30 до +150 °С і тисках до 1,6 МПа, а з сірого чавуну – від -10 до +100 °С і тиску 0,6 МПа.

У відповідності з нормативними вимогами, незалежно від середовища, тиску й температури, не рекомендується встановлювати чавунну арматуру на трубопроводах: для токсичних речовин групи А, а також для зріджених вуглеводневих газів та легкозаймистих рідин з температурою кипіння нижче 45 °С; для газів при можливості вібрації трубопроводу; для газів, що містять пари води та інших рідин, що замерзають при температурі стінки труби нижче

за 0 °С; для газів при можливій розтяжці трубопроводу; при їхньому розміщенні на відкритому повітрі з температурою нижче за -30 °С.

На трубопроводах, призначених для транспортування високоагресивних середовищ використовують арматуру у корозійностійкому виконанні. Для таких трубопроводів встановлюються підвищені вимоги щодо герметичності до запірних та сальникових пристроїв. Сильфонна арматура вибирається для трубопроводів з токсичним, вогне- та вибухонебезпечним середовищем.

Ручне керування арматурою використовують тільки при її частому використанні. В умовах автоматизованого управління застосовують арматуру з електро-, пневмо- та гідроприводами. Електропривод не використовують при температурі навколишнього повітря нижче -40 °С на відкритих майданчиках і в колодязях з підвищеною вологістю.

На трубопроводах малого діаметру (до 80 мм) арматуру кріплять на різьбі. У випадках, коли необхідний частий демонтаж системи, використовують фланцеві з'єднання. У фланцевих з'єднаннях для сильнодіючих, отруйних речовин і кислот, що димляться, незалежно від температури й тиску, конструкцію ущільнюючих пристроїв виконують по типу «шип-паз».

3.3.9. Особливості монтажу та експлуатації трубопроводів

Об'єм робіт з монтажу технологічних трубопроводів у загальному об'ємі монтажних робіт на промисловому об'єкті досить значний і може сягати до 60 %. Монтажним роботам на місці прокладки трубопроводів передують підготовчі роботи з розмітки, різки, згинання труб, механічної обробки торців, вирізання у трубах отворів, складання та зварювання елементів трубопроводів у збірну одиницю, випробовування збірних одиниць, їхнє маркування та ін.

Зварюють труби на спеціальних складальних стендах з використанням різних пристосувань (кондукторів і центраторів), що забезпечують правильне зіткнення деталей та вузлів. Для центрування труб при зварюванні, а також при забезпеченні перпендикулярності фланців з віссю труби використовують спеціально призначені для цього пристрої (рис. 3.27).

Ріжуть труби на дискових, ножівкових або токарних верстатах. Застосовують також установку для газофакельного різання і маятникову пилку з абразивними армованими кругами. Після різання кінці труб і отворів обробляють на спеціальних верстатах або переносними пневмо- та електрошліфувальними машинами. Труби діаметром до 200 мм згинають на трубозгинальних верстатах у холодному стані, а більше 200 мм – у гарячому стані.

Перед складанням труби й деталі трубопроводів очищують від бруду та обдувають стисненим повітрям. Деталі, що покриті мастилами, розконсервовують одним зі способів: нагрівають у камерах або ваннах з мінеральним маслом при температурі 100÷120 °С, а потім протирають уайт-спіритом або бензином; промивають гарячою водою або миючими розчинами.

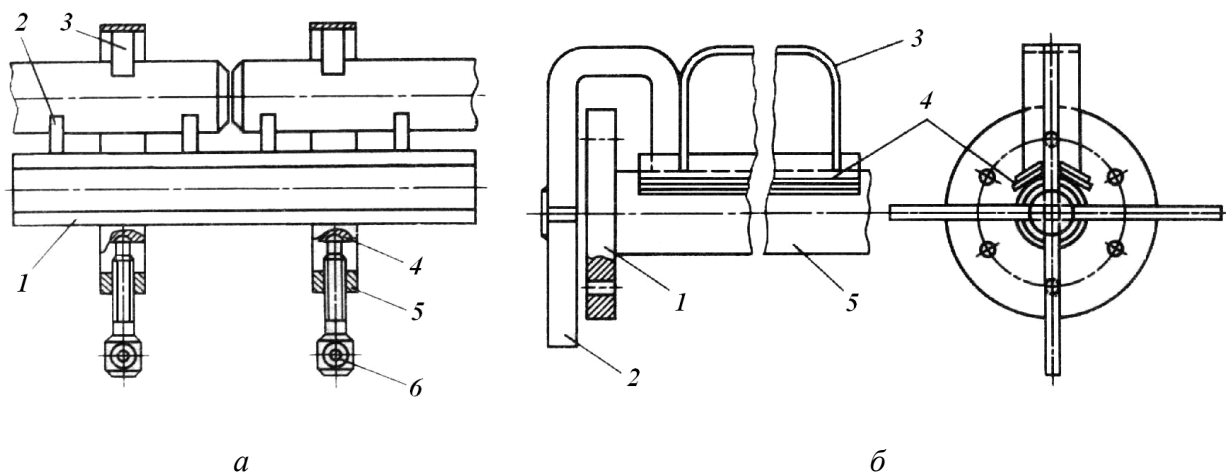


Рис. 3.27. Пристосування, що використовуються при складанні деталей трубопроводів:

- а* – для центрування труб: 1 – основа; 2 – опорна призма; 3 – притискна призма; 4 – упор;
5 – хомут; 6 – гвинт;
б – для центрування труби і фланця: 1 – фланець; 2 – контрольна хрестовина;
3 – рукоятка; 4 – куток; 5 – труба.

Прокладанню трубопроводів передують розбивка їхніх трас. Для цього за допомогою сталевий або капроновий струни й нівеліра через кожні 50÷200 м розмічають прямолінійні горизонтальні ділянки із вказанням вертикальних відміток осі трубопроводу. Потім відмічають місця рухомих і нерухомих опор, підвісок, арматури, розгалужень до апаратів, температурних компенсаторів. Після цього встановлюють опорні конструкції, які вивіряють по рівнеміру та високу (рос. – «отвес»).

При монтажі трубопроводів застосовують трубоукладальники, вантажопідйомні крани, талі та інші вантажопідйомні механізми. Зварні стики цехових трубопроводів повинні бути доступні для огляду, їх віддаляють не менш ніж на 50 мм від опор та підвісок; фланцеві з'єднання розміщують біля опор. Трубопроводи не повинні перерізати віконні та дверні прорізи. Над цими прорізами не встановлюють арматуру, фланцеві та різьбові з'єднання. Труби, що проходять крізь стіни, необхідно встановлювати у патрони, що виходять за межі стін на 50÷100 мм у кожен бік. Зазвичай трубопроводи монтують складовими одиницями, що являють собою ділянку трубопроводу з арматурою, компенсаторами та теплоізоляцією.

В останні роки застосовують монтаж обладнання блоками, коли декілька одиниць обладнання разом з обв'язувальними трубопроводами, арматурою, приладами контролю й управління поступають на монтажний майданчик у готовому вигляді з заводу-виробника. Після закінчення монтажних робіт проводять гідро- та пневматичні випробування трубопроводів на герметичність та міцність. Пневматичні випробування проводять при неможливості проведення гідравлічних, наприклад, при температурі нижче 0 °С або при відсутності води на майданчику. При тиску випробування трубопровід витримують на протязі 5 хв, потім тиск знижують до робочого та оглядають трубопровід, обстукують зварні шви молотком. Знайдені дефекти відмічають крейдою або фарбою і після зниження тиску до атмосферного усувають їх.

Результати випробувань на міцність і герметичність вважаються задовільними, якщо тиск випробовування не зменшився, а на зварному шві немає течі.

3.3.10. Траса і профіль трубопроводів

Теплова мережа – це система міцно і щільно сполучених між собою ділянок теплопроводів (рис. 3.28), по яких теплота за допомогою теплоносіїв (пари або гарячої води) транспортується від джерел до теплових споживачів.

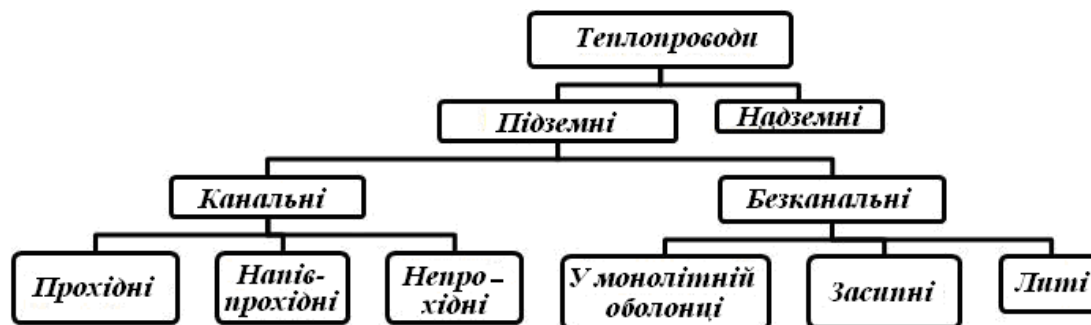


Рис. 3.28. Види теплопроводів.

Напрямок теплопроводів вибирається за тепловою картою району з урахуванням матеріалів геодезичної зйомки, плану існуючих і намічених надземних і підземних споруд, даних про характеристику ґрунтів та інш. Питання про вибір типу теплопроводу (надземний або підземний) розв'язується з урахуванням місцевих умов і техніко-економічних обґрунтувань.

При високому рівні ґрунтових і зовнішніх вод, щільності існуючих підземних споруд на трасі проєктованого теплопроводу, сильно перетнутій ярами і залізничними коліями в більшості випадків перевага віддається надземним теплопроводам. Вони також найчастіше застосовуються на території промислових підприємств при сумісній прокладці енергетичних і технологічних трубопроводів на загальних естакадах або високих опорах.

У житлових районах з архітектурних міркувань зазвичай застосовується підземна кладка теплових мереж. Слід відмітити, що надземні теплопровідні мережі довговічніші й ремонтпридатніші в порівнянні з підземними. Тому бажане дослідження хоча б часткового використання підземних теплопроводів.

При виборі траси теплопроводу слід керуватися в першу чергу умовами надійності теплопостачання, безпеки роботи обслуговуючого персоналу і населення, можливістю швидкої ліквідації неполадок і аварій.

В цілях безпеки й надійності теплопостачання прокладка мереж не ведеться в загальних каналах з киснепроводами, газопроводами, трубопроводами стисненого повітря з тиском вище 1,6 МПа. При проєктуванні підземних теплопроводів за умов зниження початкових витрат слід вибирати мінімальну кількість камер, споруджуючи їх тільки в пунктах установки арматури і приладів, які потребують обслуговування. Кількість потрібних камер скорочується при застосуванні сильфонних або лінзових компенсаторів, а також осьових компенсаторів з великим ходом (здвоєних компенсаторів), природної компенсації температурних деформацій.

На непроїжджій частині допускаються виступаючі на поверхню землі перекриття камер і вентиляційних шахт на висоту 0,4 м. Для полегшення спорожнення (дренажу) теплопроводів їх прокладають з ухилом до горизонту. Для захисту паропроводу від попадання конденсату з конденсатопровода в період зупинки паропроводу або падіння тиску пари після конденсатовідвідників повинні встановлюватися зворотні клапани або затвори.

По трасі теплових мереж будується подовжній профіль, на який наносять планувальні й існуючі відмітки землі, рівень стояння ґрунтових вод, існуючі та проектировані підземні комунікації й інші споруди, які перетинаються теплопроводом, з вказівкою вертикальних відміток цих споруд.

3.3.11. Теплоізоляційні матеріали для трубопроводів

Важливе значення в улаштуванні теплопроводу має теплова ізоляція. Від якості ізоляційної конструкції теплопроводу залежать не тільки теплові втрати, але і його довговічність. При відповідній якості матеріалів і технології виготовлення теплова ізоляція може одночасно виконувати роль антикорозійного захисту зовнішньої поверхні сталевих трубопроводів. До таких матеріалів, відносяться поліуретан і похідні на його основі – полімербетон і біон.

Основні вимоги до теплоізоляційних конструкцій:

- низька теплопровідність як в сухому стані так і в стані природної вологості;
- мале водопоглинання і невелика висота капілярного підйому рідкої вологи;
- мала корозійна активність;
- високий електричний опір;
- лужна реакція середовища ($\text{pH} > 8,5$);
- достатня механічна міцність.

Основними вимогами для теплоізоляційних матеріалів паропроводів електростанцій і котельних є низька теплопровідність і висока температуростійкість. Такі матеріали зазвичай характеризуються великим вмістом повітряних пор і малою об'ємною густиною.

Остання якість цих матеріалів зумовлює їхню підвищену гігроскопічність і водопоглинання.

Одна з основних вимог до теплоізоляційних матеріалів для підземних теплопроводів полягає в малому водопоглинанні. Тому вискоєфективні теплоізоляційні матеріали з великим вмістом повітряних пор, які легко всмоктують вологу з навколишнього ґрунту, як правило, непридатні для підземних теплопроводів.

Вибір теплоізоляційної конструкції і її розмірів залежить від типу теплопроводу і наявних початкових матеріалів, і виконується на основі техніко-економічних розрахунків. При сучасних масштабах теплофікації і централізованого теплопостачання проблема теплової ізоляції теплових мереж має велике народногосподарське значення.

При спорудженні теплопроводів в каналах для теплової ізоляції часто застосовуються вироби з мінеральної вати, захищені бітумінуванням від зволоження. На зовнішню поверхню сталевих труб накладається антикорозійне покриття (емаль, ізол та ін.). На антикорозійне покриття укладаються шкаралупи з мінеральної вати, армовані сталевим сіткою. Зверху шкаралуп укладаються напівциліндрові азбоцементні футляри, які закріплюються на теплопроводі сталевим сіткою, що покривається зверху азбоцементною штукатуркою. Останнім часом широко використовують попередньо ізольовані труби.

3.3.12. Конструкції трубопроводів

У загальному випадку теплопровід складається з трьох основних елементів [3, 6, 9]:

- робочого трубопроводу, який служить для транспортування теплоносія і який в сучасних умовах зазвичай виконується зі сталевих труб, сполучених між собою за допомогою зварювання;
- ізоляційної конструкції, призначеної для захисту зовнішньої поверхні сталевих трубопроводів від корозії і теплопроводу в цілому від теплових втрат;
- несучої конструкції, що сприймає все вагове навантаження та інші зусилля, що виникають при його роботі, а також розвантажує сталевий теплопровід і його ізоляційну конструкцію від навантаження навколишнього середовища (ваги ґрунту, рухомого наземного транспорту, вітру та інше).

Конструктивне виконання вказаних елементів залежить від типу теплопроводу і використовуваних матеріалів. У деяких типах теплопроводів, наприклад у безканальному теплопроводі з монолітною ізоляцією, функції ізоляційної і несучої конструкції суміщені в одному загальному елементі.

Залежно від використовуваних матеріалів ізоляційна конструкція теплопроводу може виконуватися як у вигляді одного елемента, так і у вигляді декількох послідовно сполучених елементів, наприклад, декількох накладених один на одного шарів ізоляції, кожний з яких виконує окрему задачу.

Сучасні теплопроводи повинні задовольняти таким основним вимогам:

- надійна міцність і герметичність трубопроводів і встановленої на них арматури при очікуваному в експлуатаційних умовах тиску і температурах теплоносія;
- високий і стійкий в експлуатаційних умовах теплопір і електропір, а також низькі повітропроникність і водопоглинання ізоляційної конструкції;
- індустриальність і збірність; можливість виготовлення в заводських умовах всіх основних елементів теплопроводу, укрупнених до меж, визначених типом і потужністю підйомно-транспортних засобів; складання теплопроводів на трасі з готових елементів;
- можливість механізації всіх трудомістких процесів будівництва й монтажу;

- ремонтпридатність, тобто можливість швидкого виявлення причин виникнення відмов або пошкоджень і усунення їх і їхніх наслідків шляхом проведення ремонту в заданий час;

- економічність при будівництві й експлуатації.

Всі підземні теплопроводи, і в першу чергу теплопроводи безканалні й у непрохідних каналах, працюють, як правило, в умовах високої вологості й підвищеної температури навколишнього середовища, тобто в умовах вельми сприятливих для корозії металевих споруд. Тому найважливішим елементом є ізоляційна конструкція, призначення якої не тільки захист трубопроводу від теплових втрат, але і захист трубопроводу від зовнішньої корозії.

У тому випадку, коли ізоляційний шар виконаний з пористого матеріалу, наприклад мінеральної вати, пінобетону, бітумоперліту та ін., необхідно захистити його від зовнішньої вологи й повітря зовнішнім покриттям з матеріалу з низьким водопоглинанням і низькою повітропроникністю, наприклад з поліетилену або ізолу. Основний метод захисту підземних теплопроводів від електрохімічної корозії полягає у виконанні ізоляційного шару з матеріалу з високим волого- і електроопором.

Інше можливе рішення задачі полягає в електричній ізоляції металу від електроліту шляхом накладення на зовнішню поверхню сталевих теплопроводів антикорозійного покриття, що має великий електричний опір, наприклад, шляхом емалювання зовнішньої поверхні або нанесення двошарового покриття температуростійким ізолом або тришарового покриття органосилікатною фарбою.

Джерелом електрохімічної корозії сталевих підземних теплопроводів зазвичай служать установки постійного струму, наприклад електрифіковані залізниці й трамваї, з рейкових шляхів яких електричний струм стікає на ґрунт. В анодних зонах, де струм стікає з металевих теплопроводів в ґрунт, відбувається руйнування теплопроводів.

Для обмеження натікання блукаючих струмів на підземні теплопроводи можуть бути використані різні методи або їхні комбінації, зокрема:

- створення високого електричного опору між металевим трубопроводом і навколишнім середовищем на всьому його протязі (виконання теплоізоляційної конструкції з матеріалу з високим електричним опором або накладення на зовнішню поверхню трубопроводу покривного шару, що має високий електроопір);

- збільшення перехідного електричного опору на межі рейки – ґрунт (укладання рейкових шляхів на основу з бітумізованого гравію, що має підвищений електроопір);

- підвищення електричного опору ґрунту навколо теплопроводу;

- підвищення подовжнього електричного опору теплопроводу шляхом його електричного секціонування (установка електроізолюючих прокладок між фланцями та електроізолюючих футлярів на болтах в місцях з'єднання окремих секцій теплопроводів);

- збільшення подовжньої електропровідності рейкового шляху за допомогою установки електропровідних перемичок між окремими ланками рейок в місцях стиковки.

Можливі також чисто електричні методи захисту, наприклад, створення навколо теплопроводу контрструму, рівного за значенням, але направленого проти блукаючих струмів.

Найбільш поширеними конструкціями теплопроводів є підземні.

3.4. Теплові пункти

Теплові пункти (ТП) у системі теплопостачання повинні виконувати такі функції [11, 13]:

- 1) облік витрати теплоти споживачами;
- 2) розподіл теплоти по місцевих системах споживачів;
- 3) підготовка гарячої води з параметрами, необхідними для санітарно-побутових і технічних потреб;
- 4) підтримка і регулювання параметрів теплоносія – тиску і температури;
- 5) регулювання витрати теплоносія, що витрачається місцевими системами теплопостачання;
- 6) збирання, а іноді й очищення конденсату і перекачування його до джерела теплоти;
- 7) використання пари вторинного скипання й охолодження конденсату;
- 8) регулювання, автоматизацію, захист, контроль і диспетчеризацію роботи місцевих систем споживачів теплоти.

Деякі з описаних функцій окремими ТП можуть не виконуватися. Так, наприклад, облік теплоти, що витрачається декількома будинками промислового підприємства, влаштовується тільки в одному – центральному пункті обліку теплоти (рис. 3.29, а). У ТП споживача, що не витрачає пару, не буде пристрою для збирання й перекачування конденсату і для використання вторинної теплоти пароконденсатної суміші.

Зазвичай індивідуальні теплові пункти (ІТП) розміщуються в будинках, теплопостачання яких вони здійснюють. Рідше вони влаштовуються в окремих, поблизу розташованих будинках. Так роблять у випадку безпідвального будинку або коли в будинку не вдається виділити приміщення для влаштування теплового пункту (рис. 3.29, б).

В даний час все частіше вдаються до влаштування центральних теплових пунктів (ЦТП), що обслуговують групу будинків (рис. 3.29, в). У спеціально побудованих окремо розташованих будинках розміщують циркуляційні насоси систем гарячого водопостачання при закритій схемі теплопостачання, мережні й підживлюючі насоси для забезпечення місцевих систем опалення при незалежній схемі теплопостачання й установки для обробки води у випадках необхідності поліпшення її якості при закритій схемі теплопостачання.

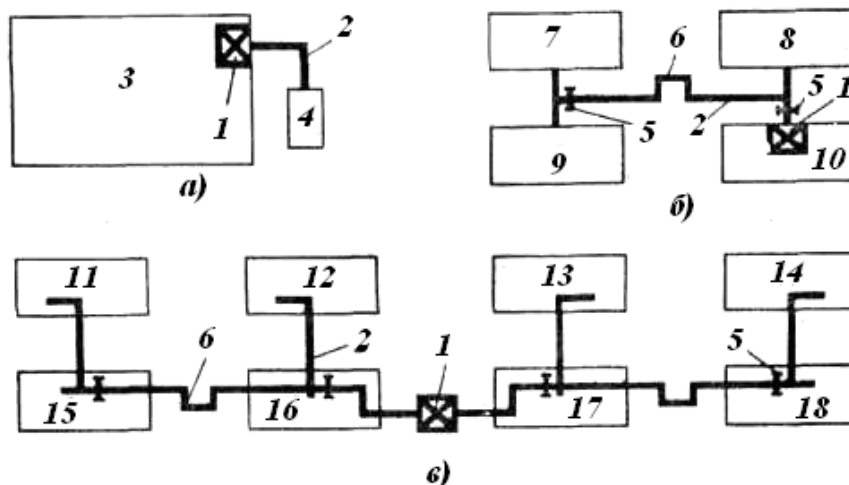


Рис. 3.29. Розміщення теплових пунктів (ТП):

а – загальний ТП для двох будинків промислового підприємства; *б* – загальний ТП для чотирьох житлових будинків; *в* – окремо розташований центральний ТП (ЦТП) для групи будинків.

1 – тепловий пункт; 2 – теплові мережі; 3 – головний корпус промпідприємства; 4 – прохідна;

5 – нерухома опора; 6 – П-подібний компенсатор; 7-18 – окремо розташовані житлові будинки.

Центральні теплові пункти мають потребу в періодичному обслуговуванні експлуатаційним персоналом. Будівництво й експлуатація ЦТП вимагає додаткових витрат. Будівництво окремо розташованих ЦТП у значній мірі обґрунтовується такими обставинами:

1) насосні агрегати можуть служити джерелами шуму і спричиняти вібрації будинків;

2) при закритій схемі теплопостачання в ЦТП полегшується місцева обробка холодної води, що усуває небезпеку корозії або заростання внутрішньобудинкових систем гарячого водопостачання.

У великих будинках нерідко влаштовуються декілька ЦТП. Визначення кількості ТП у будинку засновано на принципі: чим більша кількість ТП у будинку і чим ближче вони розташовані один від одного, тим менше виходять розміри місцевих систем, тим точніше їхнє регулювання й експлуатація. З іншого погляду, ТП займають частину будинку і вимагають витрат, отже, є вигідним зменшити кількість ТП у будинку. Тому для вирішення цього питання потрібно проведення техніко-економічних розрахунків. Практично один ТП здатний на досить високому технічному й економічному рівні обслуговувати в середньому будинок опалюваною площею 3-4 тис. м².

У будь-якому випадку кількість ТП залежить ще й від кількості місцевих систем споживачів теплоти, розташованих у даному будинку, особливостей характеру їхньої роботи і необхідної їм теплової потужності.

Теплові пункти будуються за різними технологічними схемами в залежності від застосованого в системі виду теплоносія – гарячої води чи водяної пари, схеми теплопостачання – закритої або відкритої, залежної або незалежної та інших чинників.

4. СПОЖИВАЧІ ТЕПЛОТИ

4.1. Теплоспоживання, види споживачів теплоти

Теплове споживання – це використання теплової енергії для різноманітних комунально-побутових і виробничих цілей (опалення, вентиляція, кондиціонування повітря, душі, лазні, пральні, різні технологічні тепловикористовуючі установки та інше) [8, 10].

Споживачі теплоти пред'являють до системи теплопостачання різні вимоги. Але завжди теплопостачання повинне бути надійним, економічним і якісно задовольняти всіх споживачів теплоти.

За призначенням і характером використання теплоти розрізняються такі основні **споживачі** теплової енергії:

- 1) **системи опалення** житлових, громадських і виробничих будівель;
- 2) **системи гарячого водопостачання**;
- 3) **системи вентиляції** громадських і виробничих будівель в зимовий період, тобто, коли необхідно підігрівати повітря, що нагнітається у вентильовані приміщення;
- 4) **системи кондиціонування** повітря в літній період у тому випадку, якщо для вироблення холоду застосовують холодильні установки, які використовують теплову енергію (абсорбційні або інжекторні);
- 5) **технологічні процеси** промислових підприємств, які споживають теплову енергію.

Системи опалення, вентиляції, кондиціонування повітря і гарячого водопостачання можна назвати одним терміном – комунально-побутові споживачі теплової енергії.

Залежно від температури теплоносія процеси, що споживають теплоту, в системах теплопостачання розділяють на три групи:

- 1) високотемпературні ($t > 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, споживач – технологічні процеси, теплоносій – перегріта пара);
- 2) середньотемпературні ($t = 150\div 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, споживачі – комунально-побутові або технологічні, теплоносій – пара або нагріта вода);
- 3) низькотемпературні ($t = 70\div 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, споживачі – комунально-побутові або технологічні, теплоносій – нагріта вода або пара).

У відповідності з термінами використання теплоти споживачів можна розділити на дві групи:

- 1) сезонні споживачі теплоти;
- 2) цілорічні споживачі теплоти.

Сезонні споживачі використовують теплоту не цілий рік, а тільки протягом якоїсь його частини (сезону), при цьому витрата теплоти і його зміна за часом залежать, головним чином, від кліматичних умов (температура зовнішнього повітря, сонячне випромінювання, швидкість і напрямок вітру, вологість повітря). Основне значення має температура зовнішнього повітря; впливом же інших кліматичних факторів на витрату теплоти часто нехтують.

Сезонними споживачами теплоти є:

- а) опалення;
- б) вентиляція (з підігрівом повітря в калориферах);
- в) кондиціонування повітря (одержання повітря визначеної якості: чистота, температура і вологість).

Цілорічні споживачі використовують теплоту протягом усього року. До цієї групи відносяться:

- а) технологічні споживачі теплоти;
- б) гаряче водопостачання комунально-побутових споживачів.

Якщо в сезонних споживачів витрата теплоти практично залежить від одного фактора – температури зовнішнього повітря, то в цілорічних, споживачів – від багатьох різних чинників.

4.2. Системи опалення

4.2.1. Призначення і види опалювальних установок

Призначенням системи опалення є підтримка в приміщеннях у холодний час температури повітря на необхідному рівні [10, 16]. Таким чином, система опалення вирішує тільки порівняно невелику частину задачі зі створення штучного клімату в приміщенні, тобто підтримки в приміщенні необхідної температури, відносної вологості й чистоти повітря незалежно від змін зовнішніх метеорологічних умов. Опалення влаштовується в закритих приміщеннях із тривалим перебуванням у них людей.

Опалювальні установки підрозділяються на **місцеві й центральні**. У **місцевих** установках джерело теплоти виконується у вигляді **печей**, газових калориферів (коли спалювання газу відбувається безпосередньо в нагрівальному приладі) або електрокалориферів. Простір, у якому діє місцева опалювальна установка, обмежується зазвичай одним приміщенням. Печі іноді обігрівають два суміжних приміщення.

У системах центрального опалення **джерелом теплоти** служать водогрійні або парові **котли**, розташовані поза опалювальними приміщеннями. З котлів теплоносії надходять до нагрівальних приладів приміщень по системі трубопроводів. У залежності від виду теплоносія системи центрального опалення підрозділяються на водяні, парові, повітряні й комбіновані (пароводяні, пароповітряні та ін.).

4.2.2. Водяні системи опалення

Водяні системи опалення підрозділяються в залежності від температури теплоносія на системи опалення гарячою водою низьких параметрів (з температурою води $t \leq 100$ °C) і системи опалення гарячою водою підвищених параметрів (з температурою води $t > 100$ °C) [2, 16, 17].

В даний час найбільш розповсюдженою системою опалення є система водяного опалення, що відмінно себе зарекомендувала для більшості типів будинків. При виборі систем водяного опалення слід враховувати можливість

наступного включення розглянутого будинку в систему централізованого теплопостачання. Відповідно до цього, нижче приводяться характеристики найбільш розповсюджених систем центрального водяного опалення будинків різної поверховості.

4.2.2.1. Класифікація систем водяного опалення за схемою розташування труб стояків

За даною ознакою бувають такі системи:

а) двохтрубна вертикальна система (рис. 4.1). У минулому в багатоповерхових будинках застосовувалася тільки двохтрубна система водяного опалення. Вона добре регулюється, допускає в порівнянні з іншими системами трохи менші поверхні нагрівальних приладів, але витрата труб у цій системі в 1,3-1,7 разів перевищує витрату труб при однотрубній системі. В останні десятиліття двохтрубна система вже рідко застосовується, зазвичай лише для будинків не вище двох-трьох поверхів;

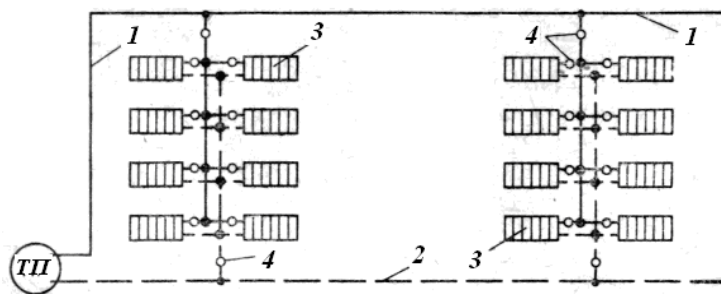


Рис. 4.1. Тупикова двохтрубна вертикальна система опалення з верхнім розведенням:

1 – подавальний трубопровід (розвідний); 2 – зворотний трубопровід;
3 – нагрівальні прилади (радіатори, реєстри); 4 – вентиля, крани; ТП – тепловий пункт.

б) однотрубна вертикальна система з верхнім розведенням з осьовими замикаючими ділянками (рис. 4.2, а) або без них (рис. 4.2, б);

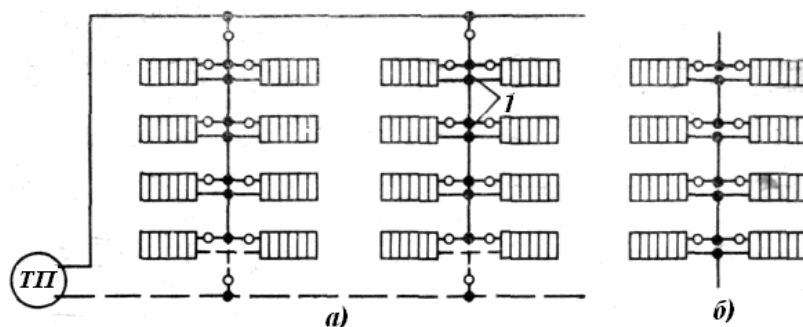


Рис. 4.2. Тупикова однотрубна вертикальна система водяного опалення з верхнім розведенням:

а – з осьовими замикаючими ділянками стояків: 1 – замикаючі ділянки стояків; ТП – тепловий пункт;
б – підключення нагрівальних приладів до стояків без замикаючих ділянок.

в) однотрубна горизонтальна система (рис. 4.3). Ця система застосовується у випадках, коли неприпустима або небажана поява отворів у перекриттях приміщень для пропуску вертикальних стояків, а також при різній

конфігурації окремих поверхів будинку. Горизонтальна система дозволяє поверхове влаштування й регулювання опалення. Видалення повітря з горизонтальної системи опалення трохи ускладнюється.

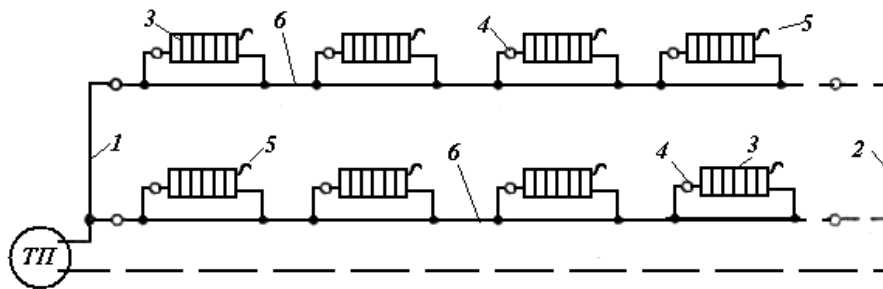


Рис. 4.3. Однотрубна горизонтальна система опалення з замикаючими ділянками стояків:

1 – трубопровід, що подає (розвідний); 2 – зворотний трубопровід; 3 – нагрівальні прилади;
4 – вентилі, крани; 5 – крани для випуску повітря; 6 – горизонтальні ділянки труб; ТП – тепловий пункт.

За останні десятиліття однотрубна вертикальна система опалення стала широко застосовуватися в будівництві багатоповерхових будинків, оскільки вона вимагає значно меншої витрати труб, фасонних частин, арматури й робочої сили для монтажу в порівнянні з двотрубною системою. Однак однотрубні вертикальні системи гірше піддаються регулюванню. Регулювання нагрівальних приладів, розташованих на верхніх поверхах, частково порушує відрегульований режим нагрівальних приладів, розташованих на нижніх поверхах.

4.2.2.2. Класифікація систем водяного опалення за розташуванням подавального трубопроводу (розвідного)

За розташуванням подавального трубопроводу системи водяного опалення поділяються на:

а) система з верхнім розведенням із встановленням подавального трубопроводу (розвідного) по горищу або під стелею верхнього поверху;

б) система з нижнім розведенням (рис. 4.4) зі встановленням подавального трубопроводу (розвідного) у підвалі або над підлогою першого поверху.

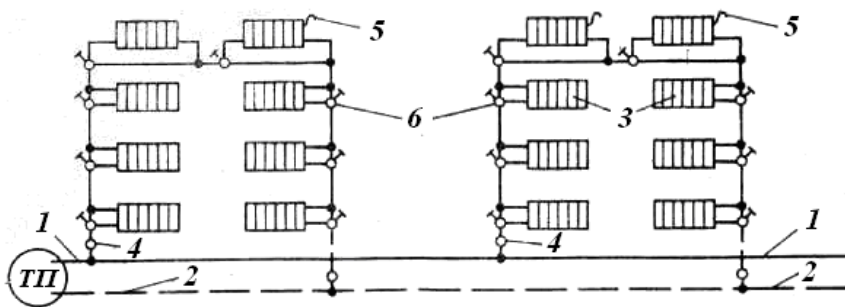


Рис. 4.4. Тупикова однотрубна вертикальна система опалення з нижнім розведенням і замикаючими ділянками стояків:

1 – трубопровід, що подає (розвідний); 2 – зворотний трубопровід; 3 – нагрівальні прилади;
4 – вентилі, крани; 5 – крани для випуску повітря; 6 – триходові крани; ТП – тепловий пункт.

Система з нижнім розведенням застосовується для будинків, що не мають горища, або (у випадку його важкоприступності) при наявності зручно розташованого підвалу, або при можливості укладання труб уздовж стін першого поверху, між підлогою й вікнами. У цій системі в порівнянні з однотрубною вертикальною системою з верхнім розведенням ускладнюється видалення повітря.

4.2.2.3. Класифікація систем водяного опалення за напрямком руху води в подавальному й зворотному трубопроводах

За напрямком руху води в подавальному й зворотному трубопроводах бувають такі системи:

а) тупикова система (рис. 4.5) із зустрічним рухом води в трубопроводах;

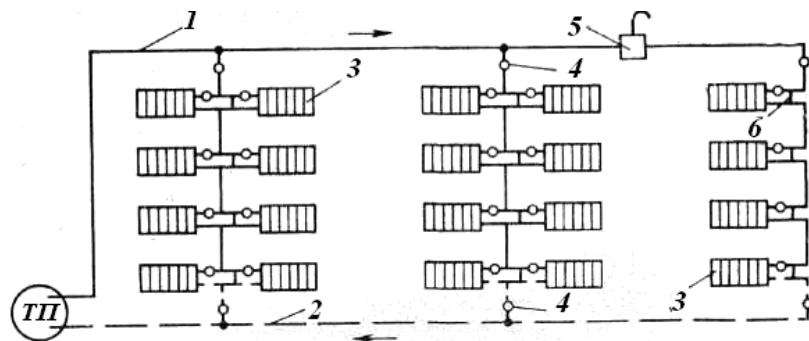


Рис. 4.5. Тупикова однотрубна вертикальна система опалення з верхнім розведенням зі зміщеними замикаючими ділянками стояків: позначення – див. рис. 4.4.

б) проточна система з побіжним рухом води в трубопроводах (рис. 4.6).

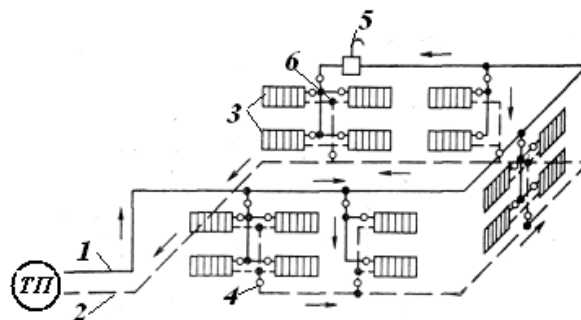


Рис. 4.6. Проточна двотрубна вертикальна система опалення з верхнім розведенням, побіжним рухом теплоносія (стрілками показаний шлях руху теплоносія):

1 – подавальний трубопровід (розвідний); 2 – зворотний трубопровід; 3 – нагрівальні прилади; 4 – вентилі, крани; 5 – повітрозбірник з краном для випуску повітря; 6 – зміщені замикаючі ділянки стояків; ТП – тепловий пункт.

Однотрубні й особливо двотрубні проточні системи опалення з побіжним рухом води краще й зручніше регулюються як по системі в цілому, так і по окремих нагрівальних приладах і ділянках системи. Можливість кращого регулювання цих систем у порівнянні з тупиковими є їхньою великою

перевагою, от чому ці, поки ще досить рідко застосовувані системи, заслуговують на серйозну увагу при створенні систем централізованого теплопостачання.

Можливість кращого регулювання проточних систем пояснюються тим, що шлях руху теплоносія через будь-який стояк системи опалення однаковий, у той час як шлях руху теплоносія при тупиковій системі для різних стояків сильно розрізняється. Однак у кожній налагодженій системі опалення втрати тиску при проходженні теплоносія через будь-який стояк повинні бути рівнозначними.

4.2.2.4. Класифікація водяних систем опалення за характером циркуляції води в системі

За характером циркуляції води в системі виділяють:

а) системи з природною циркуляцією води, здійснюваної за рахунок гравітаційних сил, що виникають у зв'язку з різницею густин охолодженої і гарячої води.

Ці системи широко застосовувалися до появи насосів з електроприводом. В даний час системи опалення з природною циркуляцією застосовуються тільки в невеликих житлових будинках, обладнаних індивідуальними котельнями;

б) системи з примусовою циркуляцією, здійснюваної насосами.

Крім описаних існують ще інші, менш розповсюджені системи опалення.

У системах водяного опалення застосовуються різного роду нагрівальні прилади. Найчастіше зустрічаються радіатори, ребристі труби, конвектори, опалювальні агрегати (обладнані калорифером і вентилятором), опалювальні панелі.

4.3. Гаряче водопостачання

Гаряча вода використовується в різних цілях:

1) для санітарно-побутових потреб: у душових, ваннах, для приготування їжі, миття посуду, прання, миття приміщень і т.ін.;

2) для технологічних потреб у різних галузях промисловості.

Потребу в гарячій воді можна забезпечити єдиною системою гарячого водопостачання, у якій вода питної якості буде нагріта до 50-65 °С в джерелі теплоти. Однак існують галузі промисловості з технологією, що вимагає застосування гарячої технічної води різної якості й температури, а також води питної якості з підвищеною температурою. На таких підприємствах доводиться створювати кілька систем гарячого водопостачання з водою різної якості й температури і з використанням різних теплоносіїв.

Системи гарячого водопостачання підрозділяються таким чином:

- за мірою централізації готування гарячої води;
- за циклом готування гарячої води;
- за використанням рециркуляції.

4.3.1. Види систем гарячого водопостачання в залежності від ступеня централізації

В залежності від ступеня централізації готування гарячої води системи гарячого водопостачання поділяються на:

а) **місцеві установки**. Гаряча вода готується в місцях її споживання у ваннах, душах, водорозбірних кранах чи поквартирно, у різних генераторах гарячої води – твердопаливних нагрівальних колонках, газових або електричних водонагрівачах і т.ін.;

б) **централізовані системи** (рис. 4.7). Гаряча вода готується централізовано в тепловому пункті (для одного або групи будинків) або в районному джерелі теплоти для всього району в цілому.

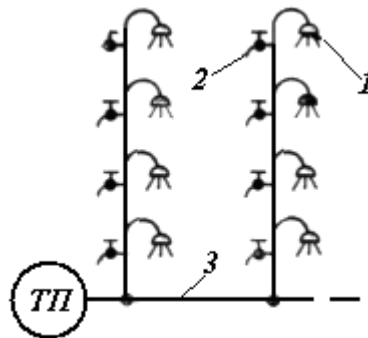


Рис. 4.7. Централізована система гарячого водопостачання будинку без рециркуляційного трубопроводу:

1 – душові лійки; 2 – водорозбірні крани; 3 – трубопровід гарячої води; ТП – тепловий пункт.

4.3.2. Види систем гарячого водопостачання в залежності від циклу готування гарячої води

В залежності від циклу готування гарячої води виділяють:

а) **одноконтурний (прямий) цикл**: джерело теплоти – необхідна гаряча вода (рис. 4.8, а);

б) **двоконтурний цикл**: джерело теплоти – гаряча вода високої температури – гаряча вода необхідної температури. Можливо також: джерело теплоти – пара – гаряча вода (рис. 4.8).

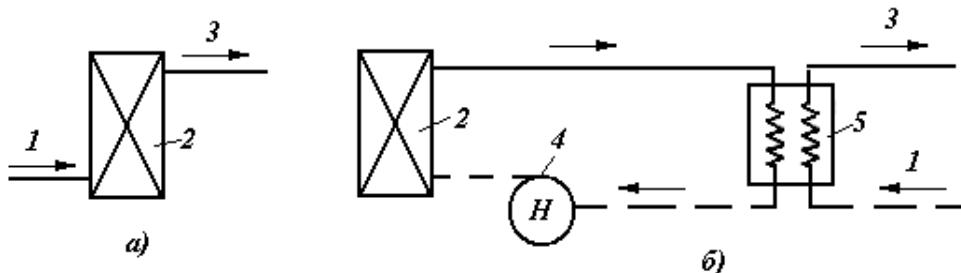


Рис. 4.8. Одноконтурний (а) і двоконтурний (б) цикли готування гарячої води:

1 – холодна вода; 2 – джерело теплоти; 3 – гаряча вода до споживача; 4 – насос на зворотному трубопроводі або конденсатопроводі; 5 – водоводяний або пароводяний підігрівач

У двоконтурному циклі джерело теплоти готує теплоносії першого контуру – гарячу воду з високою температурою або пару. Теплоносії першого контуру не використовується безпосередньо споживачами, а тільки підігріває холодну воду другого контуру до необхідної споживачам температури.

Готування гарячої води за одноконтурним прямим циклом значно простіше за її готування за двоконтурним циклом.

У практиці централізованого теплопостачання готування гарячої води за одноконтурним прямим циклом одержало назву відкритої схеми, а готування гарячої води за двоконтурним циклом – закритої схеми теплопостачання.

4.3.3. Види систем гарячого водопостачання в залежності від використання рециркуляції

За використанням рециркуляції системи гарячого водопостачання поділяються таким чином:

а) система гарячого водопостачання без рециркуляційного трубопроводу (рис. 4.7). У такій системі гаряча вода, якщо вона не витрачається, згодом охолоджується. Практично ця система застосовується тільки для коротких (до 20 м) мереж із трубопроводами гарячої води невеликого діаметра або в таких випадках, коли якесь охолодження води не має істотного значення і вода розрахункової температури виходить невеликим зливом води, що охолола;

б) система гарячого водопостачання з рециркуляційним трубопроводом (рис. 4.9). По рециркуляційному трубопроводу невикористана вода, що охолола до 35-40 °С повторно подається у водонагрівач, розташований у тепловому пункті або в котельні, де вона знову підігрівається до потрібної температури.

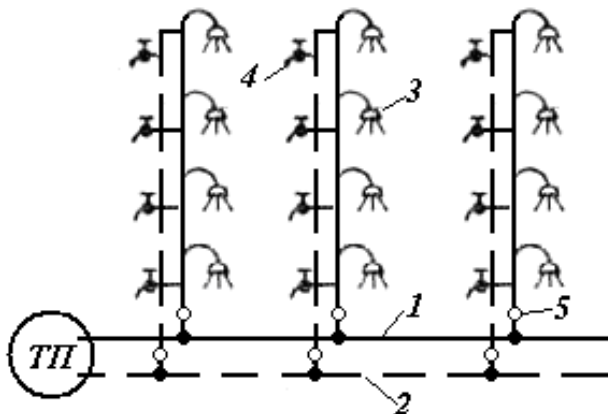


Рис. 4.9. Централізована система гарячого водопостачання з рециркуляційним трубопроводом:

1 – трубопровід гарячої води; 2 – рециркуляційний трубопровід; 3 – душові сітки; 4 – водорозбірні крани; 5 – вентилі; ТП – тепловий пункт.

Рециркуляція гарячої води може здійснюватися під впливом гравітаційних сил, створюваних різницею густин води при різних температурах, шляхом ежекції під напором насоса.

4.3.4. Обладнання установок гарячого водопостачання

Приготування гарячої води з параметрами, необхідними для санітарно-побутових і технологічних потреб проводиться на теплових пунктах. Для виконання цієї функції передбачене різне обладнання установок гарячого водопостачання.

До нього відносяться баки та акумулятори гарячої води, водопідігрівачі, насоси (водоструминні елеватори, відцентрові насоси та парові інжектори), грязьовики для захисту місцевих систем і апаратури від бруду в трубопроводах, фільтри та інші пристрої для захисту від внутрішньої корозії.

Баки для збирання конденсату й акумулювання гарячої води бувають прямокутні, конічні, еліптичні та циліндричні. Останні зазвичай використовують як напірні, що знаходяться під тиском води або парової подушки. Баки виконуються з різних матеріалів (сталь, залізобетон).

Усякий відкритий бак для гарячої води повинний бути обладнаний такими елементами: кришкою, що відкривається, випарною трубою (для видалення випарів), переливною трубою, що відводить надлишкову воду при переповненні бака, сигнальною трубою, показником рівня води, що монтується у котельні або на пульті центрального керування для спостереження за рівнем води в баці, ізоляцією для металевих баків, розвідною трубою.

Підігрівачі води застосовуються в системах гарячого водопостачання й опалення на абонентських вводах, у центральних котельнях і на теплоелектроцентралях для підігріву мережної і живильної води (регенеративні підігрівачі), для переохолодження продувних вод котлів і випарників та для різних інших цілей.

Водопідігрівачі являють собою окремий випадок теплообмінних апаратів.

Як **насосні пристрої** для перекачування теплоносіїв і створення циркуляції на абонентських вводах застосовують відцентрові насоси, водоструминні елеватори та парові інжектори.

Вони застосовуються на абонентських вводах для підмішування води, що охолола зі зворотного трубопроводу, зміни тиску в подавальній і зворотній лініях введення, відкачки конденсату і створення циркуляції в системах гарячого водопостачання.

Основні якості, якими повинні володіти відцентрові насоси, це надійність дії й безшумність.

Грязьовики служать для уловлювання великих і середніх зважених часток з води, що надходить. Забруднення труб теплових мереж звичайно відбувається в процесі їхнього монтажу, і, незважаючи на промивання мереж перед пуском протягом першого року експлуатації, домішки бруду у воді виявляють доти, поки грязьовики не виловлять усіх зважених часток.

Грязьовики виконують у вигляді відрізка труби з звареними в неї двома патрубками. Один з патрубків вводиться усередину корпусу грязьовика до його осі, заглушується і просвердлюється суцільно отворами діаметром 5-8 мм. На цей патрубок надівається сітка з отворами 1-2 мм². Сумарна площа отворів на патрубку повинна бути не менше подвійної площі перерізу патрубка. Вода

надходить у грязьовики через наскрізний патрубок; великі частинки суспензії відразу падають на дно грязьовика, а середні затримуються сіткою. Для очищення від бруду грязьовик виконується роз'ємним. У нижньому днищі є нарізка для контрольного штуцера спускного патрубку і крана, за допомогою яких здійснюється контрольний спуск бруду. У верхньому днищі є різьбовий отвір для штуцера повітряного крана і приєднання контрольного манометра. Контроль за станом грязьовика ведеться за допомогою виміру його гідравлічного опору.

Існують також інші конструкції грязьовиків.

На водяних вводах грязьовики встановлюють, як правило, на подавальній трубі, після вхідної засувки. Іноді їх ставлять на зворотній трубі перед водоміром для захисту останнього від бруду, що надходить з місцевої системи.

З метою зменшення корозійного ураження труб у системах гарячого водопостачання можна застосовувати фільтри з обпаленого доломіту (магномаси), що встановлюються на трубопроводі холодної води до водонагрівачів або сталевостружкові фільтри.

4.4. Вентиляція і кондиціонування повітря

4.4.1. Санітарно-гігієнічні та технологічні основи

Спорудження вентиляційних пристроїв сприяє створенню здорових умов роботи, зменшенню стомлюваності працівника і підвищенню продуктивності його праці [2]. У зв'язку з цим важливо з'ясувати чинники, що впливають на фізичне самопочуття людей.

Правильне висвітлення цього питання вперше було дано в 1884 р. російським ученим І.І. Флавицьким, який показав, що самопочуття людини залежить в основному від метеорологічних чинників, тобто від температури, вологості й швидкості руху повітря. Що стосується зміни складу повітря, що викликається дихальним процесом і деяким збільшенням (у зв'язку з цим) вмісту вуглекислоти, та ця зміна, за дослідженнями багатьох гігієністів, не спричиняє помітного впливу на самопочуття людей. Це перш за все відноситься до виробничих приміщень, де на одного робітника припадає значний об'єм приміщення.

В результаті споживання їжі й виконання роботи в людському організмі утворюється теплота, яка потім виділяється в навколишнє середовище через шкіру і у меншій мірі через легені. Метеорологічні умови навколишнього середовища повинні бути такі, щоб відбувалася віддача теплоти в кількості, необхідній для нормального стану людини. Це здійснюється завдяки особливій властивості людського організму – терморегуляції. Під терморегуляцією розуміють здатність людини шляхом збільшення або зменшення теплоутворення і тепловіддачі пристосовуватися до навколишнього повітряного середовища так, щоб зберігати постійність температури свого тіла, яка, як відомо, у здорової людини дорівнює в середньому 36,5 °С.

Виділення теплоти організмом відбувається за рахунок теплопереходу, випромінювання і випаровування вологи з поверхні шкіри. Якщо температура навколишнього середовища нижча за температуру шкіри, то терморегуляція здійснюється головним чином за рахунок перших двох чинників. При рівності температур шкіри і навколишнього повітря, а також у тих випадках, коли температура шкіри нижча за температуру повітря, терморегуляція відбувається в результаті дії третього чинника – випаровування. Інтенсивність випаровування з поверхні шкіри залежить від вологості і швидкості руху повітря.

При високих температурах зменшення вологості повітря сприятливо впливає на теплове відчуття людини, оскільки в менш вологе повітря випаровується більше вологи, і, значить, тепловіддача організму посилюється. Поєднання високої температури і великої вологості повітря утрудняє процес випаровування, тепловіддача в результаті випаровування зменшується, що призводить до накопичення теплоти в організмі.

При низьких же температурах збільшення вологості повітря спричиняє більше охолодження організму, оскільки вологі шкіра і повітря більш теплопровідні. Оскільки при низьких температурах людина відчуває нестачу теплоти, легко дійти висновку, що підвищена вологість повітря при низьких температурах несприятлива для людини.

На тепловіддачу людського тіла істотно впливає рух повітря. У тих випадках, коли температура середовища нижча за температуру тіла, рух повітря підсилює тепловіддачу і випаровування з поверхні шкіри. При високих температурах (вище за 36,5 °C) струмені повітря спричиняють додаткове нагрівання тіла, але в той же час в результаті випаровування поглинають теплоту з поверхні шкіри.

Кожний з відмічених метеорологічних чинників може впливати на терморегуляцію, тому необхідно враховувати їхню загальну сумісну дію на самопочуття людини.

В Україні метеорологічні умови в робочій зоні виробничих приміщень встановлюють відповідно до санітарних норм проектування промислових підприємств (СН 245–71), що враховують вплив на людину температури, вологості повітря, дії променистої теплоти і інтенсивності роботи. Ці нормативи наведені в табл. 4.1 і 4.2.

При користуванні даними табл. 4.1 слід мати на увазі, що всі роботи по витраті енергії розділяють на три категорії.

1. До *категорії легких робіт* (витрати енергії до 600 кДж/год) відносяться роботи, які виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходьбою, не вимагають систематичної фізичної напруги або підняття і перенесення тяжкості. До таких робіт можна віднести роботи, які виконуються в основних процесах швейного виробництва, точного приладобудування і машинобудування, поліграфічної промисловості, роботи контролерів, працівників зв'язку, конторські роботи і т.ін.

2. До *категорії робіт середньої тяжкості* (витрати енергії більше 600 і до 1000 кДж/год) відносяться роботи, пов'язані з постійною ходьбою,

перенесенням невеликої тяжкості (до 10 кг) і які виконуються стоячи (наприклад, роботи, що виконуються в основних процесах прядильно-ткацького виробництва, в механоскладальних і зварювальних цехах, в механізованих мартенівських, ливарних, прокатних, ковальських, термічних цехах і т.ін.).

Таблиця 4.1

**Норми метеорологічних параметрів повітря в робочій зоні
виробничих приміщень на постійних робочих місцях**

Категорія роботи	Параметри повітря						
	оптимальні				що допускаються		
	Температура повітря на робочих місцях $t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	Відносна вологість, φ , %	Швидкість повітря, v , м/с (не більше)	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	φ , % (не більше)	v , м/с (не більше)	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$ за межами робочих місць
Для холодного і перехідного періоду року (температура зовнішнього повітря нижча за 10°C)							
Легка	20-22	60-30	0,2	$\frac{17-22^*}{17-24}$	75	0,3-0,5	$\frac{15-22}{15-26}$
Середньої тяжкості	17-19	60-30	0,3	$\frac{15-20}{16-22}$	75	0,5	$\frac{13-20}{15-24}$
Важка	16-18	60-30	0,3	$\frac{13-18}{13-17}$	75	0,5	$\frac{12-18}{12-19}$
Для теплого періоду року (температура зовнішнього повітря 10°C і вище)							
Легка	22-25	60-30	0,2-0,5	28	55	$\frac{0,3-0,5^{**}}{0,3-0,7}$	Для всіх категорій роботи не більше ніж на 3° при незначних тепловтратах вище середньої температури зовнішнього повітря о 13-ій годині самого жаркого місяця.
Середньої тяжкості	20-23	60-30	0,2-0,5	27 26 25	60 65 70	$\frac{0,3-0,7}{0,5-1}$	
Важка	18-21	60-30	0,3-0,7	24 і нижче	75	$\frac{0,5-1}{0,5-1}$	

* У чисельнику умовних дробів вказані величини для приміщень з питомим теплонадлишком, рівним $80 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{год}$ і менше, в знаменнику – для приміщень з питомим теплонадлишком $80 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{год}$.

** Більша швидкість руху повітря відповідає максимальній температурі повітря, менша – мінімальній.

*** Для виробничих приміщень наведені величини відносяться до місцевостей з розрахунковою зовнішньою температурою повітря до 25°C включно для параметрів А. Для місцевостей з вищою температурою повітря слід керуватися даними табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Метеорологічні параметри повітря, що допускаються у виробничих приміщеннях на постійних робочих місцях в теплий період року для місцевостей з розрахунковою температурою зовнішнього повітря теплого періоду року для параметрів А більше 25°C і поза робочими місцями

Характеристика приміщення	Температура, °C	Відносна вологість, %
Виробничі приміщення, що характеризуються незначними надлишками явної теплоти (80 кДж/м ³ ·год і менше)	Не більш ніж на 3 °C вище за розрахункову температуру теплого періоду року для параметрів А, але не більше 31 °C	При температурі повітря в °C: 31 не більше 55 30 » » 60 29 » » 65 28 » » 70 27 і нижче – не більше 75
Виробничі приміщення, що характеризуються значними надлишками явної теплоти (більше 80 кДж/м ³ ·год)	Не більше ніж на 5 °C вище розрахункової температури теплого періоду року для параметрів А, але не більше 33 °C	При температурі повітря в °C: 33 не більше 55 32 » » 60 31 » » 65 30 » » 70 29 і нижче – не більше 75
Виробничі приміщення, в яких за умов технології виробництва потрібна штучна підтримка температури і відносної вологості повітря, незалежно від величини надлишків явної теплоти	Не більше ніж на 2 °C вище розрахункової температури теплого періоду року для параметрів А, але не більше 30 °C	При температурі повітря в °C: 30 не більш 55 29 » » 60 28 » » 65 27 » » 70 26 і нижче – не більше 75

3. До категорії важких робіт (витрати енергії більше 1000 кДж/год) відносяться роботи, пов'язані з систематичною фізичною напругою, а також з постійними пересуваннями і перенесенням значної (більше 10 кг) тяжкості (у цегляних цехах з ручним куванням, ливарних цехах з ручним набиванням і заливкою опок і т.ін.).

Нормовані метеорологічні умови і чистота повітря в приміщеннях повинні забезпечуватися в межах розрахункових параметрів А, Б і В зовнішнього повітря згідно будівельним нормам і правилам.

Параметри А характеризуються:

- для холодного періоду року – розрахунковою зимовою температурою (для проектування вентиляції) і тепловмістом, відповідним цій температурі при середній відносній вологості повітря найхолоднішого місяця о 13-ій годині;
- для теплого періоду року – тепловмістом зовнішнього повітря, вище значення якого в даному географічному пункті спостерігається не більше 400 год на рік (в середньому за багаторічними спостереженнями).

Параметри Б характеризуються:

- для холодного періоду року – розрахунковою зимовою температурою (для проектування опалювання) і тепловмістом, відповідним цій температурі при середній відносній вологості повітря найхолоднішого місяця о 13-ій годині;

- для теплого періоду року – тепловмістом зовнішнього повітря, вище значення якого в даному географічному пункті спостерігається не більше 200 год. на рік (в середньому за багаторічними спостереженнями).

Параметри В характеризуються:

- для холодного періоду року – абсолютною мінімальною температурою і тепловмістом повітря, відповідним цій температурі і середній відносній вологості повітря найхолоднішого місяця о 13-й годині;

- для теплого періоду року – максимальним тепловмістом повітря, який був зареєстрований спостереженнями за багаторічний період в даному географічному пункті.

Таким чином, в установках для кондиціонування повітря, розрахованих за параметрами А зовнішнього повітря, внутрішні параметри повітря в літній період виводитимуть за межі допустимих норм не більш 400 год на рік, а при параметрах Б – не більше 200 год на рік.

В установках, розрахованих за параметрами В зовнішнього повітря, внутрішні параметри повітря повинні підтримуватися в межах норм протягом всього року.

Розрахункові параметри А, Б і В зовнішнього повітря для різних міст наведені в довідковій літературі.

З наведених даних видно, що з підвищенням температури швидкість повітря необхідно збільшувати, оскільки зі збільшенням швидкості повітря відбувається додаткова віддача теплоти людиною в навколишнє середовище, що компенсує підвищення температури повітря.

Можна вважати визнаним, що для гігієнічної оцінки повітряного середовища, окрім метеорологічного чинника, запиленості й загазованості повітря, необхідно ще враховувати електричний стан повітряного середовища, або ступінь іонізації повітря.

Іони поділяються на позитивні й негативні. Позитивні іони є атомами, позбавленими одного або декількох електронів. Негативні іони утворюються в результаті приєднання вільних електронів до нейтральних частинок газу.

Іонізація повітря є уніполярною, причому під уніполярністю розуміється відношення кількості позитивних іонів до кількості негативних іонів.

Іони розділяються також на легкі й важкі. Легкі іони, або аероіони, є частинками повітря, які несуть електричні заряди. Важкі іони утворюються в результаті осідання легких іонів на пилинках або частинках рідини. Важкі іони можуть бути також позитивними і негативними.

Як вже вказувалося, на самопочуття людини значно впливає рухливість повітря. Нижче (табл. 4.3) наведені величини допустимих швидкостей руху повітря, при яких воно сприятливо впливає на самопочуття людини; ці величини рекомендовані Державною санітарно-епідеміологічною службою України.

Важкі іони шкідливі для людини, а легкі негативно заряджені іони спричиняють благотворну і цілющу дію на організм людини. Який вплив мають позитивні іони, точно ще не встановлено.

Допустимі швидкості руху повітря

Температура повітря у робочій зоні, °C	Допустима рухливість повітря в робочій зоні, м/с
16–20	Не вище 0,25
22–23	0,25–0,3
24–25	0,4–0,6
26–27	0,7–1,0
28–30	1,1–1,3

Зовнішнє повітря завжди містить певну кількість іонів. У гірських місцевостях, на морському узбережжі, поблизу водоспадів вміст іонів в 1 см³ атмосферного повітря складає 2000-3000 з переважанням негативних іонів, тобто з уніполярністю зарядів менше одиниці. У звичайних умовах вміст іонів в 1 см³ зовнішнього повітря дорівнює близько 1000.

У приміщеннях без вентиляції, де знаходяться люди, відбувається швидке зменшення кількості корисних для людини легких іонів.

4.4.2. Шкідливості виробництва

Робота машин і людей пов'язана з виділенням шкідливих речовин у виробниче приміщення. Основними шкідливостями є пил, підвищені температура і вологість, а також шкідливі (отруйні) гази.

Пил. Пилом називаються найдрібніші частинки твердої або рідкої речовини, здатні витати в газоподібному середовищі. За своїм складом пил розділяється на органічний і мінеральний.

Пил, знаходячись у великих кількостях в повітрі виробничих приміщень, може спричинити утворення гнійничкових захворювань шкіри, запалення слизової оболонки очей (кон'юнктивіт), а також шкідливо впливає на травні органи.

Дрібний пил вважається шкідливішим, ніж крупний, оскільки він легше потрапляє до дихальних органів. Розмір пилинок визначається в мікронах (1 мк = 0,001 мм).

Вельми шкідливу дію на дихальні шляхи надає кварцовий пил, що містить вільну кремнієву кислоту (SiO₂) і викликає захворювання – силікоз.

З санітарно-гігієнічної точки зору велике значення мають гранично припустимі концентрації пилу. Гранично припустимою концентрацією пилу (як і всякої іншої шкідливості) називається максимальний її вміст, при якому не виникає помітних хворобливих явищ в організмі людини при тривалій дії шкідливості протягом декількох років.

За ступенем дії на організм людини шкідливі речовини згідно санітарним нормам діляться на чотири класи: клас 1 – речовини надзвичайно небезпечні; клас 2 – речовини високонебезпечні; клас 3 – речовини помірнонебезпечні; клас 4 – речовини малонебезпечні.

У санітарних правилах і нормах України передбачені такі гранично припустимі концентрації пилу рослинного і тваринного походження в повітрі робочої зони: з домішкою діоксиду кремнію більше 10 % (зерновий, деревний,

лубовий, бавовняний, лляний та ін.) – 2 мг/м³; з домішкою діоксиду кремнію від 2 до 10 % – 4 мг/м³; з домішкою діоксиду кремнію менше 2 % – 6 мг/м³.

З зіставлення цих величин виходить, що вміст вільного діоксиду кремнію в пилу визначає її гранично припустиму концентрацію. Для більшості цехів її можна вважати рівною 4 мг/м³.

Пил, особливо при великих його скупченнях, являє велику пожежну небезпеку.

Підвищена температура. При значних тепловиділеннях машинами, виробничою апаратурою, людьми, сонячною радіацією та іншими джерелами теплоти в багатьох цехах за відсутності вентиляції або малій її потужності температура повітря підвищується до 30 °С, а іноді й вище. Підвищена температура утруднює процес терморегуляції, що відбувається в організмі людини, внаслідок чого погіршується самопочуття робітників і знижується продуктивність їхньої праці.

Підвищена вологість. Підвищену вологість повітря зазвичай супроводжує підвищена температура; терморегуляція людини в цьому випадку стає вельми скрутною, оскільки при підвищених температурах повітря, часто близьких до температури людського тіла, теплопередача і тепловипромінювання незначні, а внаслідок високої вологості утруднене й випаровування вологи з поверхні шкіри.

Таким чином, поєднання високої температури й підвищеної вологості вельми несприятливе для самопочуття і здоров'я працівника.

Токсичні гази й рідини. Розглянемо ті, з якими може зустрітися теплоенергетик.

Оксид вуглецю (CO) – безбарвний без запаху газ з густиною по відношенню до повітря 0,967. Найчастіше оксид вуглецю є продуктом неповного згоряння твердого палива.

Хлор (Cl₂) – газ жовтуватого-зеленого кольору з різким задушливим запахом. Хлор в 2,5 рази важчий за повітря і тому накопичується в нижній зоні приміщення. Використовується при знезараженні (хлоруванні) води. Останнім часом замінюється на гіпохлорити (у західних країнах вже давно для знезараження води використовують озон).

Сірчистий газ (SO₂) – безколірний, має їдкий запах. Густина по відношенню до повітря 2,26 кг/м³; цей газ виділяється при спалюванні сірчистих мазутів.

Сірководень (H₂S) – безколірний газ зі смердючим запахом; виділяється при гноїнні органічних залишків, значна його кількість присутня у каналізаційних стоках.

Сірковуглець (CS₂) – безбарвна масляниста легко займиста рідина з температурою кипіння 46°С; її пара в 2,6 рази важче за повітря. Сірковуглець застосовується як розчинник жирів, сірки, фосфору та інших речовин.

Оксиди азоту (NO і NO₂). Оксид азоту (II) NO і оксид азоту (IV) NO₂ виділяються при роботі з азотистою і азотною кислотами або їх солями. Оксид азоту (II) в повітрі швидко окислюється і переходить в оксид азоту (IV); останній є бурим газом з різким запахом. Густина його дорівнює 1,58 кг/м³.

Оксиди азоту утворюються при спалюванні нафтопродуктів з підвищеним вмістом азотистих сполук.

Токсичні речовини проникають в організм людини через дихальні шляхи, шкіру та шлунково-кишковий тракт. Більшість токсичних газів і рідин (оксид вуглецю, анілін та ін.), всмоктуючись у кров, поглинає гемоглобін, за рахунок якого живляться киснем клітки організму. В результаті утворюється киснева недостатність, задуха, головні болі. Деякі токсичні речовини (хлор, оксиди азоту) спричиняють роздратування й запалення слизових оболонок дихальних шляхів та очей.

Розглянуті гази в основному важчі за повітря, тому вони накопичуються в нижній частині приміщення. Проте за наявності нагрітих поверхонь конвекційні струмені можуть сприяти значному віднесенню газів у верхню частину приміщення.

Нижче (табл. 4.4) вказані гранично допустимі концентрації (у мг/м³) деяких отруйних газів в повітрі робочої зони виробничих приміщень (згідно СН 245–71). Цифри в дужках означають клас небезпеки.

Таблиця 4.4

Гранично допустимі концентрації деяких отруйних речовин

Акролеїн	0,7(2)	Сірководень	10(2)
Аміак	20 (4)	Сірковуглець	10(2)
Анілін	0,1(2)	Скипидар (у перерахунку на вуглець)	300 (4)
Бензин – розчинник (у перерахунку на вуглець)	300 (4)	Формальдегід	0,5 (2)
Бензол	5(2)	Хлор	1(2)
Оксиди азоту (у перерахунку на двоокис азоту)	5 (2)	Хлороводень	5 (2)
Оксид вуглецю	20 (4)	Ціанистий водень і солі синильної кислоти (у перерахунку на ціанистий водень)	0,3 (2)
Сірчана кислота, сірчаний ангідрид	10 (3)		

4.4.3. Тепловий баланс виробничого приміщення

Теплонадходження до виробничого приміщення.

У виробничих залах є:

- постійні джерела теплонадходжень – машини, нагріті поверхні апаратури (сушарки, печі і т.ін.); матеріали, що пройшли теплообробку; люди;
- періодично діючі джерела тепло надходжень – сонячна радіація і штучне освітлення.

Розглянемо кожний з цих джерел окремо.

Теплонадходження від машин.

Теплонадходження від машин або верстатів відбуваються в результаті переходу механічної енергії в теплову. Відомо, що кількість теплоти, що виділяється в одну секунду при витраті потужності 1 Вт, складає 1 Дж або 1 кВт·год = 3600 кДж. Виходячи з цього, теплонадходження від машин складуть

$$Q_1 = N_{вст} \cdot 3600 K_n K_e \text{ кДж/год.}, \quad (4.1)$$

де $N_{вст}$ – встановлена (номінальна) потужність електродвигунів, кВт;
 K_n – коефіцієнт попиту, що характеризує відношення потужності, фактично споживаної устаткуванням, до встановленої потужності електродвигунів (значення цього коефіцієнта береться за даними електротехнічної частини проекту підприємства);
 K_e – коефіцієнт виділення теплоти в приміщення.

Коефіцієнт виділення теплоти (K_e) враховує, яка частина теплоти виділяється в робоче приміщення і яка частина виноситься за межі приміщення разом з повітрям, що видаляється, рідиною і т.ін. Для таких машин, як дробарки, млини, грохоти (ці машини можуть використатися при подрібненні та просіюванні твердого палива) $K_e = 1$.

У цих машинах механічна енергія, що витрачається на подолання сил тертя від обертання і переміщення окремих частин машин, переходить в теплоту, і оскільки такі машини не мають укриттів, теплота, яку вони виділяють, повністю поступає в цех. Що ж до енергії, що витрачається безпосередньо на технологічний процес, то її кількість мала в порівнянні з витратою енергії на рух машин.

Від машин, що мають місцеві відсмоктування, частина теплоти виноситься з повітрям, що відсмоктується, за межі цеху.

Теплонадходження від нагрітих поверхонь апаратури.

Кількість теплоти, яке передається через стінки нагрітої апаратури, можна врахувати за формулою:

$$Q_2 = k \cdot F \cdot (t_2 - t_1), \text{ кДж/год (Вт)}, \quad (4.2)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі захисної стінки, кДж/(м²·год·К) [Вт/(м²·К)];

F – поверхня захисної стінки, м²;

t_2 – середня температура повітря (рідини) усередині апарату, °С;

t_1 – температура повітря в робочому приміщенні, °С.

Для зменшення теплонадходжень в робочу зону поверхні стінок устаткування, паропроводів і конденсатопроводів покривають шаром з теплоізоляційного матеріалу з таким розрахунком, щоб значення k не перевищувало 2,22 Вт/(м²·К) (8 кДж/м²·год·К).

У ряді випадків, коли важко врахувати тепловиділення від нагрітих поверхонь, користуються експериментальними даними, одержаними з теплового балансу відповідного устаткування.

Теплонадходження від людей.

Теплонадходження від людей (включаючи і приховану теплоту від випаровування вологи) при фізичній роботі середньої тяжкості можна приблизно прийняти рівним 800 кДж/год. При кількості людей, які одночасно перебувають у приміщенні, що дорівнює n , теплонадходження

$$Q_3 = 800 \cdot n, \text{ кДж/год.} \quad (4.3)$$

Теплонадходження від сонячної радіації.

Теплота сонячної радіації проникає всередину будівлі двома шляхами: через засклені поверхні і через масивні огорожі (стіни, покриття). Сонячні промені, які падають на засклені поверхні, частково заломлюючись, проникають всередину будівлі; тут вони, багато разів відображаючись, повністю поглинаються поверхнями предметів, що знаходяться усередині приміщення. При цьому відбувається перехід променистої енергії в теплову. Сонячні промені, потрапляючи на зовнішні поверхні стін і верхніх покриттів будівлі, частково відбиваються, частково поглинаються цими поверхнями і нагрівають їх. Завдяки цьому утворюється тепловий потік від зовнішніх поверхонь огорож до внутрішніх, тобто додатковий приплив теплоти всередину приміщення.

Напругою, або інтенсивністю сонячної радіації, називається кількість сонячної теплоти в кілоджоулях, що припадає на 1 м^2 опромінюваної поверхні за 1 год. Ця величина змінюється в широких межах у залежності від висоти стояння сонця, прозорості атмосфери, вологості повітря і кута падіння сонячного проміння на поверхню.

Кількість теплоти від сонячної радіації, що поступає всередину приміщення через засклені поверхні, залежить від товщини і якості скла, забрудненості заскленої поверхні і ступеня затемнення вікна віконними палітурками.

У табл. 4.5 наведені середні розрахункові величини теплонадходжень від сонячної радіації.

Таблиця 4.5

Розрахункові величини теплонадходжень від сонячної радіації через вертикальні засклені поверхні $q_{\text{скл}}$ в $\text{кДж/м}^2 \cdot \text{год}$

Характеристика заскленої поверхні	$q_{\text{скл}}, \text{кДж/м}^2 \cdot \text{год}$							
	Частини світу і широти в °							
	Південь				Південнсхід і південнозахід			
Вікна з подвійним склінням і дерев'яними палітурками	35	45	55	65	35	45	55	65
Те ж саме, з металевими палітурками	450	500	500	600	350	450	500	600
Ліхтарі з подвійним вертикальним склінням (прямокутні, П-подібні, типу шед) і з металевими переплетами	590	670	670	750	450	590	670	750
Те ж саме, з дерев'яними переплетами	550	670	670	710	450	590	710	710

Примітки: 1. Поверхні вікон і ліхтарів визначають за будівельними розмірами отворів.
2. Для врахування забрудненості скла приймають коефіцієнт, рівний 0,8.

Для зменшення кількості теплонадходжень від сонячної радіації через засклені поверхні при бічному освітленні (через вікна) промислові будівлі

повинні мати довгі сторони на південь і північ, а торці – на схід і захід. При такій орієнтації сонячні промені, як це видно з даних табл. 5.5, у меншій мірі проникають всередину приміщення і вносять теплоту лише у середині дня, тоді як при розташуванні будівлі довгими сторонами на схід і захід теплота поступає протягом всього дня: у першій половині дня – зі сходу, в другій половині дня – з заходу. Сказане відноситься також до будівель з верхнім світлом, яке проникає через двосторонні ліхтарі з вертикальним склінням.

Засклені поверхні шедових покриттів підприємств слід розташовувати на північ або північний схід. Менш вигідно засклену поверхню шеда направляти на північний захід, оскільки в цьому випадку до кінця дня на додаток до теплоти, виділеної масивними частинами шеда, прогрітого протягом дня сонячним випромінюванням, додається сонячна радіація через засклені поверхні. Засклені поверхні шедів і ліхтарів доцільно робити вертикальними, оскільки в цьому випадку кут між сонячним випромінюванням і поверхнею скління буде найменшим і, отже, випромінювання менше вноситиме теплоту всередину приміщення. Це перш за все відноситься до південних регіонів, де сонце знаходиться ближче до zenіту і напрям його випромінювання близький до вертикального.

При вертикальному склінні створюються також кращі умови для відведення конденсату зі скла в зимовий час.

Теплонадходження від сонячної радіації, що проходить через 1 м² плоского (безгорищного) покриття за 1 год, можна приблизно прийняти такими:

Широта в °	кДж/м ² ·год
65.....	50
55.....	60
45.....	72
35.....	80
Для всіх широт при покритті з горищем	20

Поверхню покриття визначають за його внутрішніми розмірами і вимірюють по горизонтальній проекції.

При обліку величини теплонадходжень від сонячної радіації беруть до уваги ті поверхні огорож будівлі, які одночасно освітлені сонцем. Величину теплонадходжень від сонячної радіації визначають за формулою:

для заскленних поверхонь

$$Q_5' = F_{скл.} \cdot q_{скл.} \cdot K_{скл.}, \text{ кДж/год (Вт)}, \quad (4.4)$$

для покриттів

$$Q_5'' = F_{пок.} \cdot q_{пок.} \cdot K_{пок.}, \text{ кДж/год (Вт)}, \quad (4.5)$$

де Q_5' і Q_5'' – величина сонячної радіації відповідно для заскленних поверхонь і покриттів, кДж/год;

$F_{скл.}$ і $F_{пок.}$ – поверхні скління або покриття, м²;

$q_{скл.}$ – величина сонячної радіації через скло, кДж/м²·год (Вт/м²)

(значення $q_{\text{скл.}}$ наведені в табл. 4.5);

$q_{\text{пок.}}$ – величина сонячної радіації через покриття, кДж/м²·год;

$K_{\text{скл.}}$ – коефіцієнт (безрозмірний), який залежить від характеру скління; значення K можна приймати такими: для подвійного скління в одній рамі 1,15, для одинарного і звичайно забрудненого скла 0,8, при забілених вікнах 0,6;

$K_{\text{пок.}}$ – безрозмірний коефіцієнт, чисельно рівний коефіцієнту теплопередачі покриття.

Для зменшення надходження теплоти від сонячної радіації на літній період скло рекомендується зафарбовувати крейдою або синьою фарбою. Це дає можливість зменшити теплонадходження на 40 %. З тих само міркувань коефіцієнт теплопередачі верхніх покриттів повинен бути рівним 2,04-3,2 кДж/м²·год·К. Теплонадходження від сонячної радіації враховують в тепловому балансі для теплого періоду року при зовнішній температурі повітря 10 °С і вище.

Теплонадходження від штучного освітлення.

Теплонадходження від штучного (електричного) освітлення Q_6 можна визначити з рівняння:

$$Q_6 = 3600 N_{\text{ос}} k_a \text{ кДж/год (Вт)}, \quad (4.6)$$

де $N_{\text{ос}}$ – потужність, що витрачається на освітлення, кВт;

k_a – коефіцієнт виділення теплоти в робочу зону; для підвішених світильників $k_a = 1$; для світильників, вбудованих в перекриття закритих підприємств, $k_a = 0,4$.

Широке розповсюдження одержало будівництво одноповерхових безліхтарних і безвіконних (без природного освітлення) промислових будівель. Така будівля є коробкою, в якій розміщені робочі зали з відповідним технологічним устаткуванням. Зверху над робочими залами зазвичай розташовується технічне горище, в якому розміщені вентиляційні канали, електропроводка, водопровідні труби і т.ін. У перекритті між залом і горищем встановлюють світлові панелі штучного (люмінесцентного або світлодіодного) освітлення.

У безвіконних будівлях теплота від сонячної радіації через покриття поступає в технічне горище, звідки спеціальною вентиляційною установкою видаляється назовні. Теплонадходження від сонячної радіації в робочий зал в таких будівлях виключаються.

Штучне освітлення в цих будівлях є постійним джерелом тепловиділень, але оскільки вбудовані світильники знаходяться у верхній частині приміщення і теплота, що виділяється ними, частково поступає на горище, можна вважати, що в робочу зону поступає 40 % від всієї теплоти, що виділяється штучним освітленням. При використанні світлодіодного освітлення величина тепловиділення незначна.

Теплонадходження в робочі приміщення з технічного горища.

У безліхтарних будівлях на додаток до розглянутих теплонадходжень слід враховувати теплонадходження з технічного горища через перекриття між

горищем і робочою зоною, виходячи з того, що влітку температура повітря на технічному горищі вища за внутрішню температуру в цеху. Величину цього теплонадходження Q можна визначити за звичайним рівнянням теплопередачі

$$Q_7 = kF_c(t_z - t_e)k_e \cdot 0,5 \text{ кДж/год (Вт)}, \quad (4.7)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі залізобетонного перекриття, його можна вважати рівним $8 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{K)}$ [$2,22 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$];

F_c – поверхня стелі (м^2); при розміщенні на горищі припливних і витяжних повітроводів і улаштуванні в стелі світильників поверхня теплопередачі стелі скорочується приблизно вдвічі, що і враховується множителем $0,5$;

t_z – температура повітря на горищі, яку можна прийняти на 5°C вищу за розрахункову зовнішню температуру;

t_e – внутрішня температура;

k_e – коефіцієнт виділення теплоти в робочу зону, його значення можна прийняти рівним $0,8$.

4.4.4. Кондиціонування повітря

4.4.4.1. Призначення і види процесу

Під терміном кондиціонування повітря зазвичай мають на увазі створення і підтримання (головним чином автоматично) в закритих приміщеннях і засобах транспорту параметрів повітряного середовища (температури, відносної вологості, чистоти, складу, швидкості руху і тиску повітря), найсприятливіших для самопочуття людей (*комфортне кондиціонування*), ведення технологічних процесів, дії устаткування і приладів, забезпечення збереження цінностей культури і мистецтва і т.ін. (*технологічне кондиціонування*) [2]. Системи кондиціонування повітря часто виконують функції припливної вентиляції. У теплий період року вони охолоджують і осушують повітря, в холодний – підігрівають і звожують; можуть працювати спільно з системами опалення або виконувати їхні функції. Технологічне кондиціонування повітря здійснюється в ізольованих замкнутих приміщеннях, капсулах і контейнерах.

Технологічне кондиціонування повітря у промисловості влаштовується з метою забезпечення постійності вологовмісту матеріалів, швидкості протікання хімічних і біохімічних реакцій, процесів кристалізації, підтримки незмінних температури і вологості, необхідних для випробування матеріалів в стандартних умовах та інше. Технологічне кондиціонування повітря потрібне, наприклад, для приміщень, в яких виготовляються й обробляються гігроскопічні матеріали, оскільки температура і відносна вологість повітря спричиняють великий вплив на хід технологічних процесів, масу, зовнішній вигляд і якість матеріалів та виробів з них; підтримка постійної внутрішньої температури необхідна при точній обробці інструментів, приладів з допусками порядку $2\text{--}3 \text{ мкм}$, оскільки коливання температури повітря призводять до неприпустимих відхилень в розмірах деталей в процесі їхньої обробки; відносна вологість повітря (вище 55%), підтримувана в деяких виробничих

приміщеннях, практично виключає можливість накопичення електростатичних зарядів, що особливо важливе для виробництв з вибухонебезпечним середовищем. Технологічне кондиціонування повітря влаштовується більш ніж в 200 видах виробництв різних галузей промисловості. У ряді випадків рівень температури повітря усередині виробничих приміщень визначається комфортними умовами.

4.4.4.2. Основні характеристики вологого повітря

У системах кондиціонування повітря, як правило, обробляють, тобто залежно від потреби нагрівають, охолоджують, зволожують або осушують. Повітря при цьому змінює свої фізичні властивості.

Зупинимося на основних поняттях, що характеризують фізичні властивості повітря.

Склад повітря

Оточуюча нас атмосфера складається з сухого повітря і водяної пари. Сухе атмосферне повітря є сумішшю декількох газів (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Склад атмосферного повітря

Складові частини	Формула	Вміст, %	
		мас.	об.
Кисень	O ₂	23,10	20,90
Азот	N ₂	75,55	78,13
Аргон	Ar	1,30	0,94
Вуглекислота	CO ₂	0,05	0,03

У населених місцях вміст вуглекислоти за об'ємом досягає 0,04 % і вище.

Повітря в природі не буває сухим; воно завжди вологе, тобто містить водяну пару, кількість якої непостійна як в абсолютних, так і у відносних цифрах.

Сухе повітря і водяна пара при температурі від -30 до +150 °С підкоряються законам для ідеальних газів.

Тиск повітря

Тиск повітря в техніці зазвичай виражається в атмосферах. Атмосферний тиск $p_б$, який також називається барометричним, за законом Дальтона є сумою парціального тиску сухого повітря $p_{нов}$ і водяної пари p_n , тобто

$$p_б = p_{нов} + p_n. \quad (4.8)$$

Розрізняють: фізичну атмосферу (атм) і технічну (ат).

Фізична атмосфера: 1 атм = $1,013 \cdot 10^5$ Па = 1013,25 гПа = 760 мм рт. ст. = $1,033 \cdot 10^4$ мм вод. ст. = $1,033 \cdot 10^4$ кгс/м² = 1,033 кгс/см² = 1,01325 бар.

Технічна атмосфера: 1 ат = $9,81 \cdot 10^4$ Па = 735 мм рт. ст. = 10^4 мм вод. ст. = 1 кгс/см² = 10^4 кгс/м².

У вентиляційно-опалювальній техніці доводиться мати справу з невеликим тиском, тому за одиницю вимірювання приймається тиск 0,1 МПа (1 бар, 10^5 Па).

Температура повітря

Температура повітря показує ступінь його нагріву. У техніці для вимірювання температури повітря t , як правило, користуються термометрами із стоградусною шкалою (шкала Цельсія); розрахунки ведуться за абсолютною температурою T (шкала Кельвіна). При цьому абсолютні температури T відлічуються від абсолютного нуля, що лежить нижче за потрібну точку води на $273,15$ °С. Отже,

$$T = (t + 273,15), \text{ К.} \quad (4.9)$$

Вологість повітря

Розглянемо основні поняття, що характеризують вологість повітря.

Абсолютною вологістю повітря $\rho_{нов}$, називається маса водяної пари в грамах, що міститься в 1 м^3 вологого повітря. Оскільки за законом Дальтона в 1 м^3 вологого повітря міститься 1 м^3 водяної пари, то, отже, абсолютна вологість є масою одиниці об'єму водяної пари, тобто його густина в $\text{кг}/\text{м}^3$. У метеорології абсолютну вологість повітря зазвичай визначають не густиною пари ρ_n в $\text{кг}/\text{м}^3$, а як парціальний тиск водяної пари P_n , виражений в мм рт. ст. або в Па.

Абсолютну вологість в насиченому стані називають *вологосмістю* 1 м^3 повітря і позначають $\rho_{нас}$ або $P_{нас}$.

Разом з поняттям абсолютної вологості часто користуються поняттями *відносної вологості* та *вологовмісту* повітря.

Відношення абсолютної вологості повітря ρ_n до максимально можливої вологості ρ_s при тій самій температурі називається відотною вологістю

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_s}, \quad (4.10)$$

А з урахуванням рівняння стану ідеальних газів Клапейрона-Менделєєва для пари в дійсному (ненасиченому) і насиченому стані можна записати:

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_s} = \frac{P_n}{P_s}. \quad (4.11)$$

Таким чином, під відотною вологістю повітря можна розуміти також і відношення парціального тиску водяної пари в дійсному (ненасиченому) стані P_n до парціального тиску водяної пари в насиченому стані P_s при тій самій температурі.

Відношення маси водяної пари M_n , що міститься у вологому повітрі, до маси сухого повітря $M_{нов}$ називається *вологовмістом* повітря:

$$d = \frac{M_n}{M_{нов}}, \text{ кг/кг сух.пов.} \quad (4.12)$$

Поняттям вологовмісту повітря зручно користуватись при розрахунках; у цьому випадку, переходячи від однієї температури і вологості повітря до інших, не треба вводити поправок на зміну об'єму і маси повітря.

Визначаючи маси M_n і $M_{нов}$ з рівняння стану ідеальних газів, можна отримати наступні рівняння:

$$d = \frac{P_n V}{R_n T}, \quad (4.13)$$

та

$$\frac{P_{нов} V}{R_{нов} T} = \frac{R_{нов} P_n}{R_n P_{нов}} = \frac{\mu_n}{\mu_{нов}} \frac{P_n}{P - P_n}, \quad (4.14)$$

де P_n – парціальний тиск водяної пари, Па;

$P_{нов}$ – парціальний тиск сухого повітря, Па;

$R_{нов}$ – газова стала повітря, дорівнює 287 Дж/(кг·К);

R_n – газова стала водяної пари, дорівнює 461 Дж/(кг·К);

μ_n – мольна маса водяної пари, дорівнює 18,06 кг/кмоль;

$\mu_{нов}$ – мольна маса повітря, дорівнює 28,96 кг/кмоль;

T – температура вологого повітря, К;

V – об'єм вологого повітря, м³.

Якщо виразити значення парціального тиску водяної пари з рівняння для відносної вологості вологого повітря, тобто

$$P_n = \varphi P_s, \quad (4.15)$$

то для розрахунку вологовмісту можна отримати таке рівняння:

$$d = \frac{18,06}{28,96} \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s} = 0,622 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s}, \text{ кг/кг сух.пов.} \quad (4.16)$$

З рівняння (4.16) слідує, що максимально можливе значення вологовмісту досягається при повному насиченні повітря водяною парою, тобто при $\varphi = 1,0$.

$$d = 0,622 \frac{\varphi P_s}{P - \varphi P_s}. \quad (4.17)$$

Якщо тиск насичення стає рівним зовнішньому тиску P , що досягається при температурі кипіння, то значення $d_{max} \rightarrow \infty$.

Калоричні властивості вологого повітря.

При розрахунках калоричних властивостей вологого повітря розглядається пароповітряна суміш сухого повітря і водяної пари.

Ізобарна питома теплоємність c_p , віднесена до 1 кг сухого повітря (тобто до $(1+d)$ кг вологого), дорівнює сумі теплоємностей 1 кг сухого повітря $c_{p_{нов}}$ і d кг вологої пари c_{p_n}

$$c_p = c_{p_{нов}} + d c_{p_n}, \text{ кДж/кг·К.} \quad (4.18)$$

В наближених розрахунках приймається $c_{p_{нов}} = 1 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$ та $c_{p_n} = 1,84 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Таким чином, наближене рівняння для теплоємності вологого повітря має вигляд:

$$c_p = 1,0 + 1,84d, \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}. \quad (4.19)$$

Ентальпія вологого повітря h визначається як для суміші відповідно:

$$h = h_{нов} + dh_n, \text{ кДж/кг}. \quad (4.20)$$

Ентальпія сухого повітря в рівнянні (4.20) дорівнює:

$$h_{нов} = c_{p_{нов}} \cdot t \approx 1 \cdot t, \text{ кДж/кг}. \quad (4.21)$$

Ентальпія 1 кг водяної пари h_n в рівнянні (4.20) наближено з урахуванням теплоти випаровування води при 0 °С, прийнятої 2500 кДж/кг, розраховується:

$$h_n = 2500 + 1,84t, \text{ кДж/кг}. \quad (4.22)$$

Отже, розрахунок ентальпії вологого повітря виконується за допомогою рівняння:

$$h = h_{нов} + (2500 + 1,84t)d, \text{ кДж/кг}. \quad (4.23)$$

d – h-діаграма стану повітря

Графічним зв'язком параметрів t , d , h і ϕ вологого повітря є d – h -діаграма, запропонована проф. Л.К. Рамзіним. Вона використовується для спрощення розрахунків і наочного зображення фізичних процесів зміни стану вологого повітря. Ця діаграма добре відома студентам з попереднього курсу «Технічна термодинаміка».

При розрахунках вентиляційних систем користуються рівняннями, що описують рух газових потоків. Ці рівняння розглядалися в курсі «Гідрогазодинаміка».

4.4.4.3. Зволоження повітря

Використовуються такі способи зволоження повітря: камерне зволоження, камерне зволоження з місцевим дозволоженням, зволоження парою, та ін. В основі багатьох методів лежить зволоження повітря рециркуляційною водою. Цей процес проводять у зволожувальних камерах (рис. 4.10)

Повітря поступає у фільтр, після чого в холодну пору року підігрівається в калорифері 1 та зволожується в камері, в якій встановлені форсунки 2 для розбризкування води. При зіткненні з повітрям вода випаровується всього на 2-3 %, залишок випадає на піддон камери, потім поступає у фільтр, звідки насосом знову закачується у форсунки. Після цього повітря може підігріватися в калорифері другого підігріву 3.

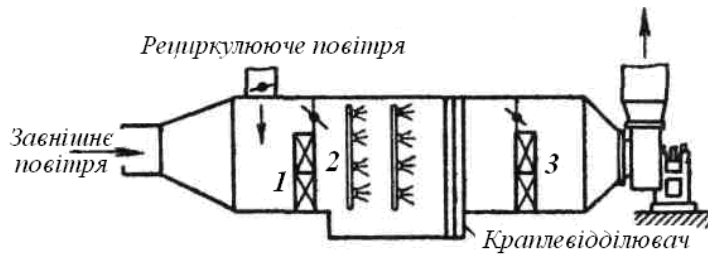


Рис. 4.11. Схема зволожувальної камери при роботі на рециркуляційній воді:

1 – калорифер першого підігріву; 2 – форсунки; 3 – калорифер другого підігріву.

Таким чином, циркулює, по суті, одна і та ж кількість води; вода, що випарилась, подається з водогону. Повітря, зволожене в камері, подається в приміщення.

Якщо в камері розпилюється рециркуляційна вода, причому встановлюються форсунки з малим діаметром для тонкого розпилювання, то після достатнього перемішування води із зволожуваним повітрям середовище приймає температуру мокрого термометра. Якщо цю ж воду знову подавати насосом у форсунки, то температура води під час процесу залишиться рівній температурі мокрого термометра.

Для спрощення практичних розрахунків процес зволоження рециркуляційною водою приймається адіабатичним, тобто по $h = \text{const}$.

Форсунки для розпилення води. Зволоження повітря розбризкуванням води здійснюється у форсункових камерах. Форсунки встановлюються в поперечному перерізі камери і розташовуються так, щоб рух розбризканої води збігався з напрямком повітря або був проти його течії.

Вода у форсунки подається насосом і отримує поступально-обертальний рух, завдяки чому збільшується факел розбризканої води. Розбризкана вода розпилялася, утворюючи значну поверхню. Наприклад, при діаметрі крапель 1 мм загальна поверхня 1 л розбризканої води складає 60 м².

4.4.5. Вентиляційна система

Вентиляційна система – це сукупність обладнання та пристроїв для підготовки, транспортування, розподілу та видалення повітря. За призначенням системи вентиляції бувають припливними та витяжними.

Припливні системи – це системи, які подають (нагнітають) повітря у приміщення.

Витяжні системи – це системи, які видаляють забруднене повітря із приміщення.

Якщо вентилюється все приміщення або його робоча зона за наявності розосереджених джерел шкідливих виділень, то вентиляція називається *загальнообмінною*. Відведення повітря безпосередньо від обладнання або надходження повітря в певну частину приміщення забезпечується системою *місцевої (локальної) вентиляції*.

Місцева витяжна вентиляція може бути значно ефективнішою від загальнообмінної, оскільки видаляє шкідливі виділення більшої концентрації безпосередньо від місць їх утворення.

Вентиляційні системи поділяються на системи з *механічною подачею повітря* (із застосуванням вентиляторів, ежекторів тощо) та його надходженням *під дією вітру і гравітації*. При цьому вентиляція приміщення може здійснюватись через розгалужену мережу каналів (повітропроводів) – так звана *канальна вентиляція*, або через спеціальні отвори у зовнішніх огородженнях – *безканальна вентиляція*.

Схеми припливних систем загальнообмінної канальної вентиляції наведені на рис. 4.12.

На рис. 4.13 подано схему витяжної системи загальнообмінної канальної вентиляції з природним спонуканням руху повітря.

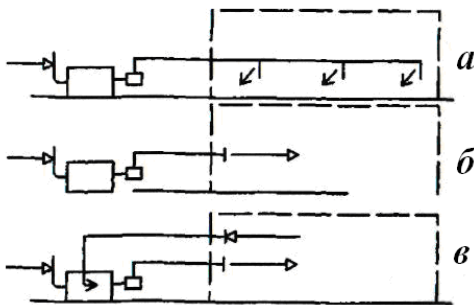


Рис. 4.12. Схеми припливних систем загальнообмінної вентиляції:

- а – прямоточна з роздачею повітря;
- б – прямоточна із зосередженою подачею повітря;
- в – з рециркуляцією внутрішнього повітря.

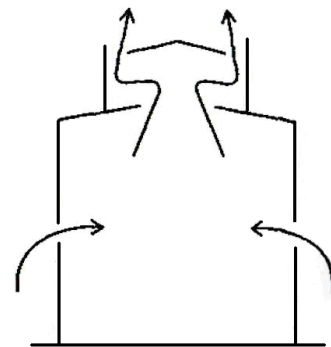


Рис. 4.13. Схема витяжної системи загальнообмінної канальної вентиляції з природним спонуканням руху повітря.

Розрахунок витрати теплоти на вентиляцію. Витрата теплоти на вентиляцію житлових споруд, що не мають, як правило, спеціальної припливної системи, відносно невелика і становить 5-10 % від витрати теплоти на опалення. Вона враховується згідно з величиною питомої тепловтрати споруди q_v .

Витрату теплоти на вентиляцію приймають за проектами місцевих систем вентиляції, а для діючих установок – за експлуатаційними даними. Приблизно витрату теплоти на підігрів припливного повітря $Q_{пов}$, знаходять за рівнянням:

$$Q_{пов} = V_{зовн} q_v (t_{прим} - t_{зовн}), \text{ Вт}, \quad (4.24)$$

де $V_{зовн}$ – об'єм споруди за зовнішнім виміром, м³;

q_v – вентиляційно-теплова характеристика будівлі (споруди), Вт/(м³·К);

$t_{прим}$ – температура повітря у приміщенні, °С;

$t_{зовн}$ – температура зовнішнього повітря, °С.

Величину q_v можна визначити із залежності

$$q_v = mc_{пов} \frac{V_v}{V_{зовн}}, \quad (4.25)$$

де m – розрахункова кратність обміну повітря, 1/с;

$c_{\text{пов}}$ – об'ємна теплоємність повітря, Дж/м³·К;

V_v – об'єм вентилярованої частини споруди, м³.

Отже, вентиляційно-теплова характеристика споруди q_v являє собою витрату теплоти на 1 м³ об'єму споруди за зовнішніми вимірами і при різниці в 1 °С температур зовнішнього повітря і всередині приміщення.

Розрахункова витрата теплоти на вентиляцію:

$$Q_{\text{пов}} = V_{\text{зовн}} q_v (t_{\text{прим}} - t_{\text{зовн.вент}}), \text{ Вт}, \quad (4.26)$$

де $t_{\text{зовн.вент}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для вентиляції, яка визначається як середня температура найхолоднішого періоду, що становить 15 % тривалості всього опалювального сезону, її значення для різних кліматичних зон наводяться у довідниках. Як правило, $t_{\text{зовн.вент}}$ вища за $t_{\text{зовн.опал.}}$. Для промислових цехів із значним виділенням шкідливих речовин.

$$t_{\text{зовн.вент}} = t_{\text{зовн.опал.}}$$

Мінімальна кратність обміну повітря при температурі зовнішнього повітря $t_{\text{зовн.опал.}}$ визначається таким чином:

$$m_{\text{мін}} = \frac{t_{\text{прим}} - t_{\text{зовн.вент}}}{t_{\text{прим}} - t_{\text{зовн.опал}}} m, \quad (4.27)$$

де m – розрахункова кратність обміну повітря, 1/с.

За відсутності даних з номенклатури і розмірів споруд приймають

$$q_v = 0,28 \div 0,36 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}).$$

Досить часто за відсутності додаткових даних розрахунок витрати теплоти на вентиляцію здійснюють за укрупненими нормативами. Тоді розрахункова витрата може бути визначена за такою формулою:

$$Q'_{\text{пов}} = q_v F_{\text{житл.спор.}} K_{\text{громадськ.}} K_v, \text{ Вт}, \quad (4.28)$$

де $K_v = 0,4$ і $K_{\text{громадськ.}} = 0,25$.

Поточна витрата теплоти на вентиляцію визначається таким чином:

$$\text{при } t_{\text{зовн.вент}} > t_{\text{зовн.}} > t_{\text{зовн.опал.}} \quad Q_{\text{пов}} = Q'_{\text{пов}}, \quad (4.29)$$

$$\text{при } t_{\text{зовн.опал.}} > t_{\text{зовн.вент}} > t_{\text{зовн.}} \quad Q_{\text{пов}} = Q'_{\text{пов}} \frac{t_{\text{прим}} - t_{\text{зовн.}}}{t_{\text{прим}} - t_{\text{зовн.вент}}}. \quad (4.30)$$

4.5. Технологічні процеси зі споживанням теплової енергії

В різних галузях промисловості використовуються численні технологічні процеси з використанням теплової енергії і створене відповідне технологічне обладнання. Крім повсюдно використовуваних процесів нагрівання та охолодження, до них відносяться випарювання (випарні апарати), перегонка (перегінні апарати та ректифікаційні колони), сушіння (сушарки), випалювання (печі) тощо [1, 5, 10, 12].

Названі процеси відрізняються теоретичними підходами, математичним апаратом для розрахунків, будовою обладнання, і потребують у кожному

конкретному випадку індивідуального підходу. Як приклад, наводимо короткий огляд процесу **сушіння**.

4.5.1. Основні характеристики процесу сушіння

Сушінням називається термічний процес видалення вологи з матеріалу.

Розрізняють:

1) природне сушіння – проводиться на відкритому повітрі, матеріал може бути висušений до параметрів навколишнього повітря. Процес характеризується великою тривалістю;

2) штучне сушіння – проводиться в сушарках гарячим повітрям або газами. Сушильний агент подається вентилятором. Мала тривалість сушіння. Матеріал, що поступає на сушіння, характеризується вологістю. Вологість розраховують на загальну (ω^3) і суху (ω^c) масу:

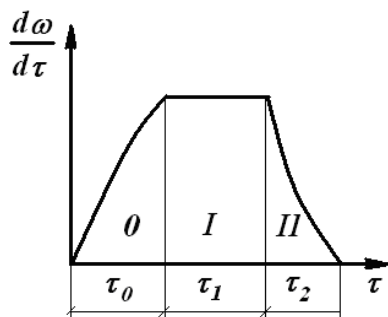
$$\omega^3 = \frac{W}{G} 100 = \frac{W}{G_{\text{сyx}} + W} 100; \quad \omega^c = \frac{W}{G_{\text{сyx}}} 100, \quad (4.31)$$

де W – кількість вологи, кг;

G – загальна маса, кг;

$G_{\text{сyx}}$ – суха маса, кг.

Процес сушіння характеризується кривими сушіння, які являють собою залежність швидкості сушіння від часу. Крива сушіння підрозділяється на три періоди:



I – період підігріву, мала вологовіддача, підвищення температури матеріалу;

II – період видалення вільної вологи; швидкість сушіння постійна, інтенсивна вологовіддача, температура поверхні матеріалу дорівнює температурі мокрого термометру;

III – період видалення зв'язаної вологи, руйнування матеріалу, підвищення його температури, дуже низька вологовіддача.

Вологість, яка відповідає рівності парціального тиску водяної пари над поверхнею матеріалу і вдалині від нього, називається *рівноважною*. Рівноважна вологість при $P/P_n=1$ називається *гігроскопічною вологістю*. Вологість матеріалу, яка відповідає переходу від постійної швидкості сушіння до падаючої, називається *критичною*.

4.5.2. Способи сушіння. Зображення процесу в $d - h$ -діаграмі

Способи сушіння:

- 1) конвективне – сушіння гарячим газовим теплоносієм;
- 2) контактне – при зіткненні матеріалу з нагрітою поверхнею;
- 3) терморадіаційне – сушіння тепловим випромінюванням тонких шарів;
- 4) сушіння струмами високої частоти;

- 5) сублимаційне сушіння – відбувається в замороженому стані;
- 6) вакуумне сушіння – відбувається при тиску, нижчому за атмосферний;
- 7) сушіння в киплячому шарі – зерновий матеріал витає у висхідному потоці гарячих газів.

Схема конвективного сушіння. Процеси в $d-h$ -діаграмі.

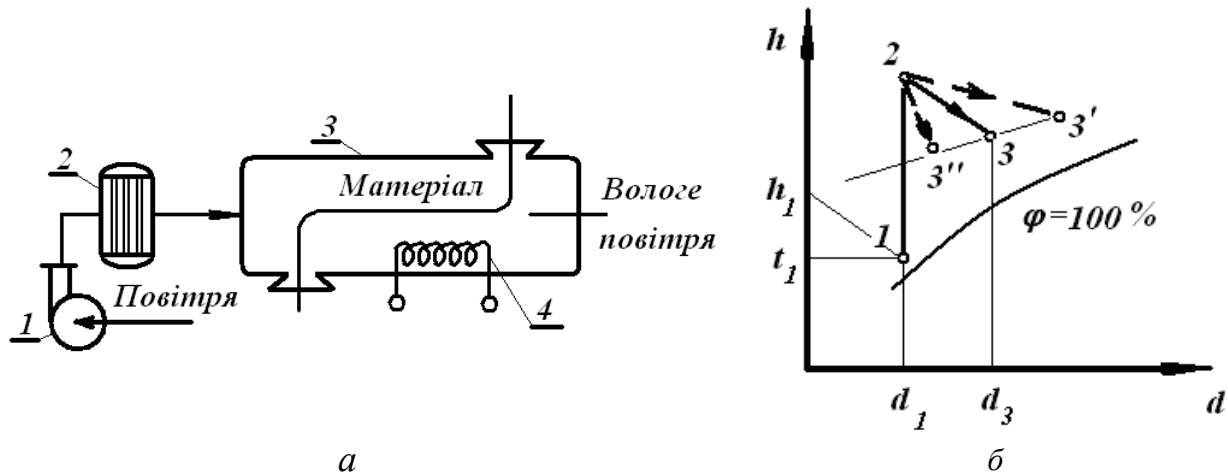


Рис. 4.14. Конвективна сушарка і процеси в $d-h$ -діаграмі

а) схема конвективної сушарки: 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – сушильна камера; 4 – додатковий підігрів;

б) процеси в $d-h$ -діаграмі: 1-2 – підігрів повітря в калорифері; 2-3 – адіабатний ($h = \text{const}$) теоретичний процес сушіння матеріалу (зволоження повітря); 2-3'' – дійсне сушіння без підігріву (політропний процес).

Витрата повітря і теплоти на 1 кг випареної води:

$$l = \frac{1000}{d_3 - d_1}; \quad q = \frac{h_2 - h_1}{d_3 - d_1}. \quad (4.32)$$

4.5.3. Тепловий баланс сушарки

Теоретична сушарка:

$$Q_k = Q_{\text{вип.}}, \text{ Вт.} \quad (4.33)$$

Дійсна:

$$Q_k = Q_{\text{вип.}} + Q_{\text{н.п.}} + Q_m + Q_{\text{о.с.}} + Q_{\text{нов.}}, \text{ Вт} \quad (4.34)$$

де Q_k – теплота, одержана повітрям в калорифері;

$Q_{\text{вип.}}$ – теплота, що витрачається на випаровування води;

$Q_{\text{н.п.}}$ – теплота, що витрачається на нагрівання пари до параметрів сушильного агента;

Q_m – теплота, що витрачається на нагрівання матеріалу;

Q_t – теплота, що витрачається на нагрівання транспортних пристроїв;

$Q_{\text{о.с.}}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище;

$Q_{\text{нов.}}$ – теплота, що втрачається з повітрям, яке виходить з сушарки.

4.5.4. Будова сушарок

Існують дві групи сушарок: перша група – для простого або контактного сушіння; друга група – для сушіння газовими теплоносіями.

У **I групі** найбільш розповсюджені:

- сушильні шафи;
- сушарки з мішалками;
- валкові сушарки.

Сушильні шафи (рис. 4.15) є найпростішими апаратами для контактного сушіння. Матеріал, що висушується, насапється шаром 20-60 мм на листи, які встановлюються на нагрівальні плити.

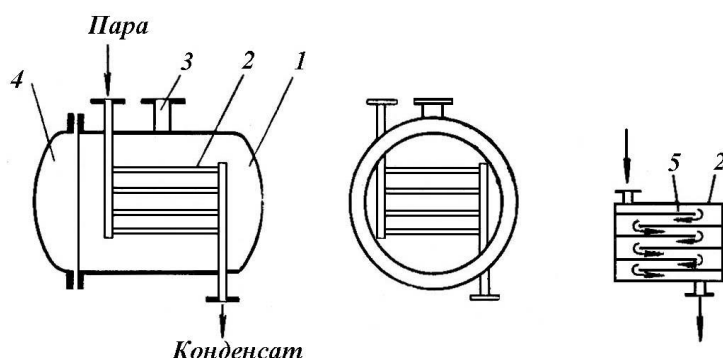


Рис. 4.15. Сушильна шафа:

1 – з'ємна кришка; 2 – нагрівальні плити; 3 – патрубок для відведення парів; 4 – корпус;
5 – перегородка.

Сушарка з мішалкою (рис. 4.16) використовується для сушіння сипких матеріалів. Гребкова мішалка обертається із швидкістю 6-10 хв⁻¹. Гребки розташовані під кутом до осі апарату і можуть обертатися у різних напрямках. Завдяки цьому матеріал переміщається зліва направо або справа наліво. Сушарка працює періодично.

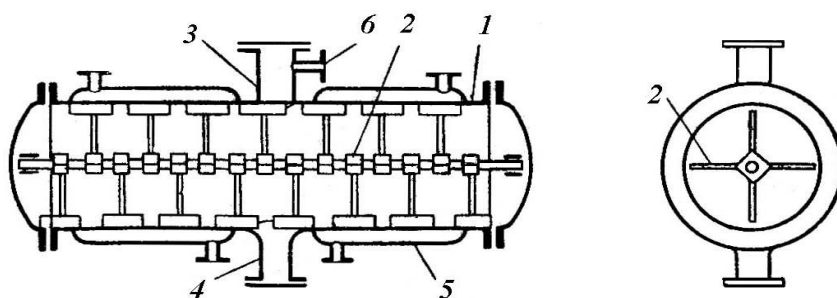


Рис. 4.16. Сушарка з мішалкою:

1 – корпус; 2 – гребкова мішалка; 3, 4 – завантажувальний і розвантажувальний люки;
5 – парова оболонка для підведення пари і відведення конденсату; 6 – патрубок для відведення парів, що виділяються.

II група. Конструкції різноманітні, але всі сушарки складаються з трьох вузлів: камери, вузла підігріву і транспорту сушильного агенту; вузла транспорту матеріалу.

Стрічкова сушарка (рис. 4.17). Вологий матеріал пересипається з стрічкового транспортеру одного ярусу на інший. При пересипанні відбувається перемішування матеріалу, що сприяє збільшенню швидкості сушіння.

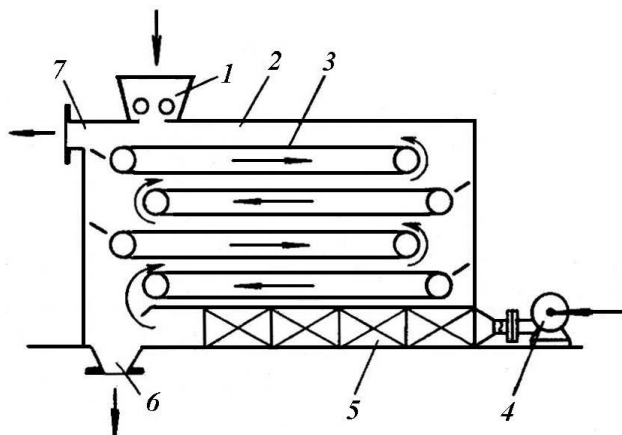


Рис. 4.17. Стрічкова сушарка:

1 – завантажувальний бункер; 2 – камера; 3 – транспортер; 4 – вентилятор; 5 – калорифери; 6 – розвантажувальний бункер; 7 – газохід відпрацьованого повітря.

4.6. Системи регулювання відпуску теплоти

Потреба в теплоті у споживачів міняється в залежності від метеорологічних умов, кількості споживачів гарячої води в системах побутового гарячого водопостачання, режимів систем кондиціонування повітря і вентиляції для калориферних установок. Для систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря головним фактором, що впливає на витрату теплоти, є температура зовнішнього повітря. Витрати теплоти, що надходить на покриття навантажень гарячого водопостачання і технологічного споживання, від температури зовнішнього повітря не залежать.

Методика зміни кількості теплоти, що подається споживачам, відповідно до графіків їхнього теплоспоживання, називається системою регулювання відпуску теплоти. Розрізняють центральне, групове і місцеве регулювання відпуску теплоти. Центральне регулювання теплового навантаження здійснюється в джерелі теплоти – на ТЕЦ або в районній котельні.

Групове і місцеве регулювання здійснюються у споживачів теплоти і розглядаються як додаткові до центрального.

Групове регулювання може виконуватися в теплових пунктах промислових підприємств, у групових або індивідуальних вузлах приєднання місцевих систем, а місцеве – у нагрівальних приладах систем теплоспоживання.

За умовами експлуатації центральне регулювання переважніше групового і місцевого. Однак одним центральним регулюванням можна обмежитися тільки при однорідному тепловому навантаженні.

У сучасних системах централізованого теплопостачання до тих самих теплових мереж приєднані системи опалення, системи вентиляції, системи гарячого водопостачання і технологічні теплоприймачі. Зазначені споживачі

працюють за різними режимами теплоспоживання, одні працюють цілодобово (опалення), інші працюють кілька годин на добу (вентиляція), системи гарячого водопостачання експлуатуються, як правило, у денні години.

У зв'язку із зазначеним, центральне регулювання приймається для основного теплового навантаження (наприклад, для опалення і вентиляції), а для регулювання інших видів навантажень використовується групове і місцеве регулювання.

Групове і місцеве регулювання найбільш зручно здійснювати при застосуванні авторегуляторів, групових (на всю місцеву систему споживачів теплоти) або індивідуальних, установлених на кожному нагрівальному приладі.

Нагрівальні прилади (третя ланка системи тепlopостачання) є найбільш масовим елементом обладнання систем тепlopостачання і відрізняються великою розмаїтістю типів. Застосовуються опалювальні радіатори, конвектори, калорифери, водопідігрівачі, технологічні апарати.

Уся кількість теплоти, отримана від джерела теплоти по теплових мережах, витрачається в нагрівальних приладах для нагрівання повітря в приміщеннях, повітря у вентиляційних камерах або кондиціонерах, води у водопідігрівачах. Теплове навантаження систем тепlopостачання залежить від режиму тепловіддачі нагрівальних приладів.

Теплова віддача будь-якого нагрівального приладу може бути визначена за загальним рівнянням теплопередачі:

$$Q = kF\Delta t\tau, \text{ кДж}, \quad (4.35)$$

де Q – кількість теплоти, віддана нагрівальним приладом за час τ у секундах, кДж;

k – коефіцієнт теплопередачі нагрівального приладу, кВт/(м²·К);

F – поверхня нагрівання приладу, м²;

Δt – середня різниця температур між гріючим теплоносієм і середовищем, що нагрівається.

Рівняння (4.35) показує, що тепловіддачу можна регулювати впливом на кожний з членів правої частини: зміною коефіцієнта теплопередачі нагрівального приладу, включенням різної поверхні нагрівання, зміною середньої різниці температур, часом роботи приладу.

Регулювання відпуску теплоти в широких межах впливом на коефіцієнт теплопередачі практично важко здійснити, оскільки коефіцієнт теплопередачі є величиною досить сталою.

Зміна тепловіддачі виключенням або включенням частини поверхні нагрівання можливо тільки у споживачів; у цьому випадку неможливо скористатися перевагами центрального регулювання.

Зміна часу роботи нагрівальних приладів з метою регулювання тепловіддачі може застосовуватися в системах тепlopостачання, але при різномірному тепловому навантаженні неможливо на цьому принципі побудувати центральне регулювання. Цей метод може бути застосований при місцевому регулюванні.

Найбільші можливості дає регулювання відпуску теплоти зміною середньої різниці температур між теплоносієм, що гріє і середовищем, що нагрівається.

При теплоносії воді середню температуру в нагрівальному приладі можна регулювати зміною температури теплоносія при вході в нагрівальний прилад, виході з нього або одночасною зміною на вході й виході.

У залежності від методу впливу на середню температуру теплоносія відомі *три системи центрального регулювання* відпуску теплоти у водяних системах теплопостачання:

а) якісне – зміною температури води в подавальному трубопроводі (без регулювання витрати води);

б) кількісне – зміною витрати води при збереженні постійної температури води в подавальному трубопроводі;

в) якісно-кількісне – зміною температури і витрати води в подавальному трубопроводі.

У міських системах централізованого теплопостачання переважно застосовується центральне якісне регулювання відпуску теплоти, що доповнюється на вводі до споживачів місцевим кількісним регулюванням.

Як було зазначено раніше, при кількісному регулюванні в подавальному трубопроводі температура води залишається постійною, а відпуск теплоти регулюється зміною витрати води з теплової мережі. Для регулювання витрати теплоносія в теплових пунктах, що обслуговують споживачів, установлюються регулятори витрати, що забезпечують постійну витрату води в системі споживача в умовах змінного тиску в зовнішній тепловій мережі.

Для підтримки постійної температури гарячої води, що виходить з водопідігрівачів, використовується вимірювально-керуючий пристрій ТРБ (біметалічне термореле) у комплекті з виконавче-регулювальним органом РВ.

Паралельно описаному регулюванню витрати теплоносія, що здійснюється в ТП, можливо ще додаткове, більш тонке регулювання витрати в кожному приміщенні – установкою відповідних регуляторів перед радіаторами і калориферами, що обігрівають приміщення.

Таким чином, у будь-якій приміщенні можливо встановити задану температуру незалежно від температури зовнішнього повітря та інших умов. Точність регулювання заданої для приміщень температури забезпечується різного типу терморегуляторами, що встановлюються в опалювальних системах і працюють за принципом регулювання кількості теплоносія, що подається споживачу.

Регулювання температури приміщень дуже просто, але менш точно, виконується кранами подвійного регулювання і вентилями ручного обслуговування, що встановлюються перед нагрівальними приладами.

Застосування терморегуляторів має велике практичне значення, оскільки вони не тільки підтримують необхідну температуру в приміщеннях, але й заощаджують теплоту, не допускаючи перегрівання приміщень.

Тиск у трубопроводі зовнішньої мережі може перевищувати межу міцності радіаторів, калориферів та інших нагрівальних приладів. Тому тиск у

кожному тепловому пункті при проектуванні повинен знижуватися до значень, що забезпечують кожній місцевій системі необхідну безпеку для радіаторів і необхідну різницю тисків у подавальному і зворотному трубопроводах.

Якщо втрати тиску в місцевій системі не відрегульовані в тепловому пункті, то буде потрібно їх відрегулювати в кожному окремому стояку й для кожного нагрівального приладу, що дуже складно. Більш правильно здійснювати основне регулювання тиску в тепловому пункті, виконуючи в місцевих системах тільки додаткове дрібне регулювання, необхідне також для усунення неточності в розрахунку й монтажі системи.

Автоматизація теплових мереж і введів споживачів теплоти підвищує надійність роботи і спрощує експлуатацію систем теплопостачання. Нормальний тепловий і гідравлічний режими, що підтримуються за рахунок встановлених авторегуляторів, підвищують якість теплопостачання. За рахунок автоматизації можна домогтися істотної економії палива усуненням перегріву приміщень в опалювальних будинках при високих температурах зовнішнього повітря.

5. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ВИКИДІВ ТЕС І КОТЕЛЬНИХ

5.1. Вплив енергетики на природне середовище і клімат

Всі процеси, пов'язані з перетворенням енергії, зокрема, виробництво, транспортування, переробка і спалювання органічного палива, є потужним джерелом антропогенного впливу на навколишнє середовище. Джерела негативного впливу на природу котелень і теплових електричних станцій (ТЕС), що працюють на органічному паливі, можна класифікувати таки чином:

1. За характером впливу:

- погіршують якість повітря (викиди оксидів азоту і сірки, монооксиду вуглецю CO, летких вуглеводнів, пилу, сажі та низки інших забруднюючих речовин);
- змінюють радіаційно-тепловий баланс атмосфери (емісія парникових газів – CO₂, CH₄, N₂O), а також викиди, що призводять до утворення озону і сульфатного аерозолу в нижніх шарах атмосфери (викиди NO_x і SO_x);
- порушують природний тепловий режим (скидання теплоти);
- спричиняють шумовий вплив;
- забруднення водних об'єктів стічними водами.

2. За територіальним масштабом:

- локальні (погіршення навколишнього середовища в безпосередній близькості (до 100 км) від джерела забруднення або скидання теплоти);
- регіональні (транскордонне – перенесення забруднюючих речовин на кілька тисяч кілометрів);
- глобальні (зміни клімату, руйнування озонового шару).

Низка речовин, що утворюються в процесах, пов'язаних з перетворенням енергії органічного палива і надходять в атмосферу, здатні залишатися в ній

тривалий час, що вимірюється тижнями, роками і навіть десятиліттями; переноситись на великі відстані і спричиняти зміни навколишнього середовища в значних часових і територіальних масштабах.

Спостереження за складом атмосфери, що ведуться систематично вже більше 40 років, свідчать про значне збільшення атмосферних концентрацій основних парникових газів, як за цей період, так і в порівнянні з доіндустріальною епохою. Розрахунки показують, що антропогенна емісія метану та оксиду азоту N_2O відіграє основну роль у збільшенні їх атмосферних концентрацій.

Метеорологічні спостереження показують, що за останні сто років середньоглобальна температура збільшилась на $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, з яких $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ припали на останні 30 років, завдяки чому 90-ті роки минулого століття були найтеплішим десятиліттям за всю історію метеорологічних спостережень.

Проте, в останні десятиліття у світовій енергетиці спостерігаються процеси, що призводять до значного зниження її негативного впливу на навколишнє середовище. Такими процесами є: зміни в паливно-енергетичному балансі, впровадження природоохоронних технологій і підвищення енергоефективності економіки (підвищення ККД установок перетворення енергії, зниження енергоемності виробництва), використання додаткових ресурсів на природоохоронні заходи за рахунок Кіотського протоколу. Зазначені тенденції вже призвели до помітного зниження питомих викидів основних парникових газів і забруднюючих речовин в атмосферу.

Так, за рахунок зменшення частки вугілля у світовому енергетичному балансі та підвищення ролі газу, ядерної й поновлюваних джерел енергії питома емісія CO_2 знизилася за останні 50 років приблизно на 120 кг вуглецю на 1 т у.п. Аналогічне зниження питомої емісії оксидів сірки й азоту в теплоенергетиці індустріально розвинених країн пов'язане з підвищенням ефективності вироблення електроенергії, використанням екологічно більш чистого палива і впровадженням технологій придушення утворення оксидів азоту й очищення димових газів від SO_x і NO_x .

5.2. Викиди теплових електростанцій та котелень на органічному паливі в атмосферу

Основне забруднення атмосферного повітря пов'язане зі спалюванням органічного палива. ТЕС і котельні, споживаючи велику кількість органічного палива, істотно впливають на забруднення повітряного басейну.

Робоча маса органічного палива складається з вуглецю, водню, кисню, азоту, сірки, вологи і золи. В результаті повного згоряння палива утворюються вуглекислий газ, водяна пара, оксиди сірки (сірчистий газ, сірчаний ангідрид) і зола. З перерахованих складових до токсичних відносяться оксиди сірки й зола. При високих температурах в ядрі факела топкових камер котлів великої потужності відбувається часткове окислення азоту повітря і палива з утворенням оксидів азоту (оксид і діоксид азоту). При неповному згорянні палива в топках можуть утворюватися також монооксид вуглецю CO ,

вуглеводні, CH_4 , C_2H_6 та ін., а також канцерогенні речовини. Продукти неповного згоряння дуже шкідливі, проте при сучасній техніці спалювання їх утворення можна виключити або звести до мінімуму.

Найбільшу зольність мають горючі сланці й буре вугілля, а також деякі сорти кам'яного вугілля. Рідке паливо має невелику зольність; природний газ є беззольним паливом. Сучасні зололовлювачі завдяки високому ступеню уловлювання золи дозволяють значно знизити викиди золи і довести їх до вельми малих значень.

Останнім часом серйозну увагу привернула проблема вивчення канцерогенних речовин, що утворюються при неповному згорянні палива. За своєю поширеністю й інтенсивністю впливу з багатьох хімічних речовин цього типу найбільше значення мають поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) і найбільш активний з них – бенз(а)пірен. Максимальна кількість бенз(а)пірену утворюється при температурі 700-800 °С в умовах нестачі повітря для повного згоряння палива.

5.3. Розрахунок розсіювання шкідливих домішок і вибір висоти димової труби

У сучасних виробничих та опалювальних котельнях димова труба служить не для створення тяги, а для відведення продуктів згоряння на певну висоту, при якій забезпечується розсіювання шкідливих речовин до допустимих санітарними нормами концентрацій в зоні знаходження людей (ГДК).

Розрахунок розсіювання шкідливих домішок в атмосфері проводиться при несприятливих метеорологічних умовах, а саме при небезпечній швидкості вітру. Під небезпечною швидкістю вітру розуміють швидкість, при якій концентрація шкідливих домішок на рівні існування людини досягає максимальних значень.

З метою визначення мінімальної висоти димової труби попередньо визначаються викиди шкідливих компонентів з димовими газами.

Визначаються викиди твердих часток (леткої золи і незгорілого палива):

$$M_t = 0,01B \left(a_{\text{вин}} A^p + q_4 \frac{Q_n^p}{32,68} \right) \cdot (1 - \eta_{\text{зу}}), \text{ г/с}, \quad (5.1)$$

де B – витрата палива, г/с;

A^p – зольність палива на робочу масу, %;

q_4 – втрати теплоти через механічну неповноту згоряння палива, %;

Q_n^p – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$a_{\text{вин}}$ – частка золи, що виноситься газами з котла;

$\eta_{\text{зу}}$ – ступінь уловлювання золи в золофіксатор.

Ступінь уловлювання золи в зололовлювачах визначається за формулою:

$$\eta_{\text{зу}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}}{C_{\text{вх}}}, \quad (5.2)$$

де $C_{\text{вх}}$ і $C_{\text{вих}}$ – концентрація золи на вході і виході зололовлювача.

Визначається викид оксидів сірки (по сірчистому ангідриду):

$$M_{SO_2} = 0,02BS^p \left(1 - \eta'_{SO_2}\right) \cdot \left(1 - \eta''_{SO_2}\right) \cdot \left(1 - \eta^c_{SO_2} \frac{n_o}{n_k}\right), \text{ г/с}, \quad (5.3)$$

де S^p – вміст сірки в паливі, %;

η'_{SO_2} – частка оксидів сірки, що пов'язані леткої золою в котлі;

η''_{SO_2} – частка оксидів сірки, що вловлюється в мокрих золовловлювачах (залежить від витрати і загальної лужності зрошувальної води, а також від сірчистості палива);

$\eta^c_{SO_2}$ – частка оксидів сірки, що вловлюється в установках сіркоочищення димових газів;

n_o, n_k – тривалість роботи установки сіркоочищення і котла відповідно, год/рік.

Визначаються викиди оксидів азоту. Наведена нижче формула для розрахунку викидів оксидів азоту емпірична і прийнятна для парових котлів паропродуктивністю більше 30 т/год і водогрійних котлів тепловою потужністю понад 35 МВт.

Сумарна кількість оксидів азоту, що викидаються в атмосферу з димовими газами при спалюванні твердого, рідкого або газоподібного палива, обчислюється за формулою:

$$M_{NO_x} = 10^{-3}KB \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \beta_1 (1 - \varepsilon_1 r) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2 \left(1 - \eta_{az} \frac{n_{az}}{n_k}\right), \text{ г/с}, \quad (5.4)$$

де B – витрата палива, г/с;

K – коефіцієнт, що характеризує вихід оксидів азоту в залежності від номінальної і фактичної продуктивності котла, кг/т;

β_1 – коефіцієнт, що враховує вплив на вихід оксидів азоту якості палива, що спалюється (вміст N^e);

β_2 – коефіцієнт, що враховує конструкцію пальників;

β_3 – коефіцієнт, що враховує вид шлаковидалення;

ε_1 – коефіцієнт, що характеризує ефективність впливу рециркуляції газів на зниження NO_x в залежності від умов подачі їх в топку;

ε_2 – коефіцієнт, що характеризує зниження викидів оксидів азоту при подачі частини повітря крім основних пальників (при двоступеневому спалюванні);

r – ступінь рециркуляції димових газів;

η_{az} – частка оксидів азоту, що вловлюються в азотоочищувальній установці;

n_{az}, n_k – тривалість роботи азотоочищувальної установки і котла, год/рік.

З урахуванням трансформації монооксиду азоту в діоксид в атмосферному повітрі частка NO_2 і NO в приземному шарі атмосфери становить:

$$M_{NO_2} = 0,8M_{NO_x}, \text{ г/с}, \quad (5.5),$$

$$M_{NO} = (1 - 0,8) M_{NO_x} \frac{\mu_{NO}}{\mu_{NO_2}} = 0,13 M_{NO_x}, \text{ г/с}, \quad (5.6)$$

де μ_{NO} , μ_{NO_2} – мольні маси NO і NO₂.

При наявності в димових газах діоксиду сірки та діоксиду азоту необхідно враховувати їхній спільний вплив на атмосферу. У цьому випадку кількість шкідливих домішок визначається за формулою

$$M = M_{SO_2} + 5,88 M_{NO_2}. \quad (5.7)$$

Висота димової труби визначається з виразу

$$H = \sqrt{\frac{AMFm}{c_{ГДК} - c_{\phi}}} \sqrt[3]{\frac{N}{V_{mp}\Delta t}}, \text{ м}, \quad (5.8)$$

де A – коефіцієнт, що враховує умови розсіювання (приймається в залежності від кліматичних умов району розміщення ТЕС або котельні від 120 до 240);

M – сумарна кількість шкідливих домішок, г/с;

F – коефіцієнт, що враховує швидкість осідання (для газоподібних домішок $F = 1$, для пилу $F = 2$);

m – безрозмірний коефіцієнт, що враховує умови виходу димових газів з отвору труби;

$c_{ГДК}$ – гранично допустима концентрація шкідливих домішок в атмосфері, мг/м³;

c_{ϕ} – фонові концентрації шкідливих домішок в атмосфері, мг/м³;

N – кількість димових труб однакової висоти;

ΔT – різниця між температурою димових газів на виході з труби і середньою температурою повітря, К;

V_{mp} – об'ємна витрата димових газів через трубу при температурі їх у вихідному перерізі, м³/с.

Діаметр отвору труби, м,

$$D_0 = \sqrt{\frac{4V_{mp}}{\pi N w_0}}, \text{ м}, \quad (5.9)$$

де w_0 – швидкість газів в отворі, м/с (приймається від 15 до 45 м/с в залежності від висоти труби).

Якщо в димових газах є речовини, що відрізняються значеннями ГДК, висоту труби приймають за найбільшим зі значень для окремих речовин, визначених зі співвідношення (5.8).

Найкраще розсіювання шкідливих речовин в атмосфері досягається при відведенні всіх димових газів котельні або ТЕС через одну трубу.

Конструкція димової труби залежить від висоти, агресивності димових газів, потужності джерела викиду димових газів, властивостей золи і способу золовловлювання.

При слабоагресивних і неагресивних димових газах застосовуються димові труби з конічним газовідвідним стволом і з вентиляльованим повітряним зазором або без нього. При спалюванні сірчистих мазутів або вугілля утворюються агресивні димові гази, тому доцільне встановлення для обслуговування димових труб висотою понад 240 м з газовідвідним стволом постійного перерізу зі сталі або кислотостійкого матеріалу. Труби з протитиском в зазорі рекомендується споруджати висотою 240 м і нижче.

Основна вимога до димових труб – це їхня висока надійність. Протягом всього терміну експлуатації (30-50 років) труба повинна забезпечувати роботу ТЕС або котельні без проведення ремонтів.

5.4. Очищення продуктів згоряння від золи і пилу

Ефективність роботи золовловлювальних пристроїв залежить від фізико-хімічних властивостей золи і димових газів. Основними параметрами золи є густина, дисперсний склад, питомий електричний опір, злипання.

Для очищення газів від золи і пилу застосовуються апарати, що розрізняються за конструкцією і принципом осадження часток (рис. 5.1). Їх поділяють на чотири групи: «сухі» механічні, «мокрі» механічні, фільтри й електрофільтри.

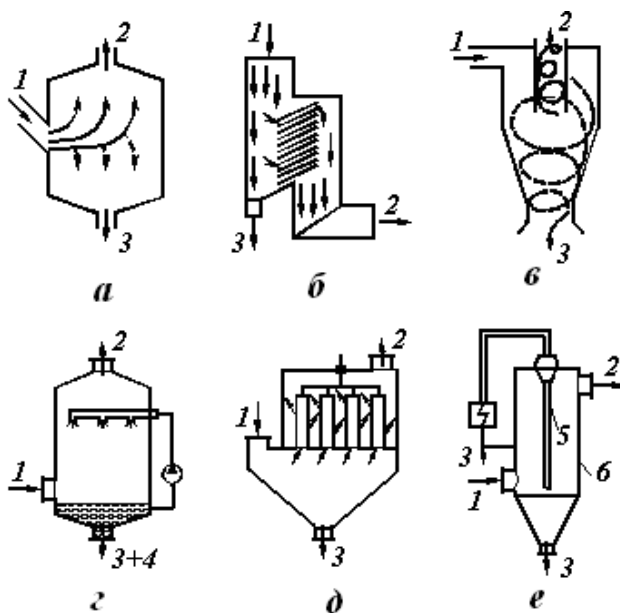


Рис. 5.1. Золо-пиловловлювачі ТЕС і котельні:

- a* – осаджувальна камера; *б* – жалюзійний золо-пиловловлювач; *в* – циклон; *г* – «мокрый» пило-золовловлювач; *д* – рукавний фільтр; *е* – електрофільтр;
 1 – забруднені гази; 2 – очищені гази; 3 – тверді частки; 4 – вода; 5 – коронуючі електроди;
 6 – осаджувальні електроди.

Золо-пиловловлювачі характеризуються ефективністю уловлювання, яка представляє собою відношення маси уловленого пилу до загальної кількості пилу, що надходить в апарат.

До «сухих» механічних апаратів відносяться: осаджувальні камери, циклони, інерційні, жалюзійні, вихрові та динамічні пиловловлювачі.

Вони відрізняються простотою виготовлення й експлуатації. Однак ефективність уловлювання пилу в них не завжди достатня, тому їх використовують в основному для попереднього очищення газів.

Осаджувальні камери являють собою пустотілі або з горизонтальними полками камери (рис. 5.1, а). В них використовується гравітаційне осадження часток при проходженні газу через об'єм апарату зі швидкістю 0,2-0,8 м/с.

Жалюзійні золо-пиловловлювачі (рис. 5.1, б) прості за конструкцією і мають невеликий гідравлічний опір. Вони складаються з жалюзійних ґрат і пиловловлювача (циклону). Призначення жалюзійних ґрат – розділити газовий потік на дві частини: одну – менш запилену, що складає 80-90% від всього газового потоку, та іншу – що відсмоктується в циклон, що становить 10-20% усього потоку і містить основну масу пилу, яка уловлюється в циклоні. Далі очищений в циклоні газ змішується з основним потоком.

Швидкість газів в жалюзійних пиловловлювачів складає 12-15 м/с; гідравлічний опір решітки – 100-500 Па. Застосовується для уловлювання часток більше 20 мкм.

Циклони є найбільш поширеними апаратами для очищення газів від золи й пилу. Вони прості у виготовленні, надійно працюють при високих температурах і тисках газів, мають практично постійний гідравлічний опір і не змінюють фракційну ефективність зі зростанням запиленості газів.

Підведення газів в циклон може бути спіральним, тангенціальним, тангенціально-гвинтовим. Циклони можуть бути циліндричними і конічними. Циліндричні циклони є високопродуктивними апаратами, а конічні – високоефективними.

Принцип дії циклону такий (рис. 5.1, в). Потік газу, що підводиться тангенціально або спіралью, закручується і рухається вниз по спіралі. Тверді домішки, що містяться в газах, під дією відцентрових сил притискаються до стінок корпусу циклону і потрапляють в бункер, а потік очищених газів відводиться з верхньої частини циклону. Ступінь очищення таких апаратів складає до 90 %.

Для підвищення ступеня очищення застосовують циклони невеликого діаметра (0,23-0,5 м), що об'єднуються в батареї – так звані батарейні циклони. Поширені три типи елементів батарейних циклонів: з осьовим напрямним апаратом (БЦР-254), з напівравликовим підведенням газу (БЦУ-М) і з чотиризаходним підведенням газу (БЦ-512). Більш високий ступінь уловлювання мають батарейні циклони типів БЦУ-М і БЦ-512.

Батарейні циклони застосовують для уловлювання золи (пилу) за котлами паропроодуктивністю 500 т/год. Рекомендується застосування циклонів з тангенціальним напівравликовим підведенням газу типу БЦУ-М внутрішнім діаметром 231 мм. Ступінь очищення у таких циклонах становить 88-92 % при втраті тиску 500-700 Па.

До групи «мокрих» механічних пило-золовловлювачів відносяться: порожнисті, насадкові, тарілчасті, ударно-інерційної дії, відцентрові, швидкісні (скрубери Вентурі). Видалення золи (пилу) в них відбувається при безпосередньому контакті рідини з запилених газом. Принцип їхньої дії

заснований на відокремленні часток золи (пили) від потоку інерційними силами і прилипанні їх до плівки води, що омиває стінки або поверхню насадки, що виключає повернення часток в потік газу. У золовловлювачах такого типу крім уловлювання золи протікають хімічні процеси поглинання з димових газів оксидів вуглецю і сірки.

Мокрі золовловлювачі відрізняються високою ефективністю (ступінь очищення досягає 95-97 %), відносно невисокою вартістю, помірними габаритами, простотою обслуговування і відносно невеликими експлуатаційними витратами.

Порожнисті скрубери (рис. 5.1, з) являють собою колони круглого або прямокутного перерізу, в яких здійснюється контакт між газом і краплинами води, що розпилюються форсунками. Форсунки встановлюються в колони в одному або декількох перерізах. Найбільш поширені протитечієві скрубери. Швидкість газу в них змінюється від 0,6 до 1,2 м/с. Якщо робота проводиться при швидкостях газу до 5-8 м/с, то встановлюються краплєвловлювачі.

Гідравлічний опір скрубера без краплєвловлювача становить 250 Па. Висока ефективність скрубера забезпечується при розмірі часток, що перевищує 10 мкм.

У пиловловлювачах з рухомою насадкою як насадку використовують кільця, сідла й кулі з полімерних матеріалів або пористої гуми. Густина насадки не повинна перевищувати густини рідини. Оптимальний режим пиловловлювання в таких апаратах встановлюється при повному псевдозрідженні.

Процес очищення рекомендується проводити за таких умов: швидкість газу – 5-6 м/с; питома витрата рідини на зрошення – 0,5-0,7 л/м³ газу; вільний переріз решітки $S_0 = 0,4 \text{ м}^2$ при ширині щілини 4-6 мм. Оптимальний діаметр куль – 20-40 мм. Насипна густина – 200-300 кг/м³. Мінімальна статична висота шару насадки складає 5-8 діаметрів куль в насадці, а максимальна не повинна перевищувати діаметр скрубера.

У тарілчастих колонах зола (або пил) утримується газорідинним (пінним) шаром, що утворюється на контактних тарілках при взаємодії газу й рідини. Найбільш поширені пінні апарати з сітчастими тарілками або з провальними тарілками – дірчастими, ґратчастими, трубчастими і колосниковими.

В основі роботи пористих фільтрів всіх видів лежить процес фільтрування газів через пористі перегородки. При фільтруванні тверді й рідкі частки затримуються на перегородці, а газ повністю проходить через неї. Фільтруючі перегородки досить різноманітні, але в основному вони складаються з волокнистих або зернистих елементів.

Залежно від призначення пористі фільтри умовно поділяють на фільтри тонкого очищення, повітряні фільтри і промислові фільтри.

Фільтри тонкого очищення призначені для уловлювання в основному субмікронних часток з газів з низькою початковою концентрацією (<1 мг/м³). Їх застосовують для уловлювання з високою ефективністю особливо токсичних часток. Для очищення газів на 99 % від часток розміром 0,05-0,5 мкм використовують матеріали у вигляді тонких листів або об'ємних шарів з тонких

або ультратонких волокон (діаметром менше 2 мкм). Гідравлічний опір чистих фільтрів 200-300 Па, а забитих пилом – 700-1500 Па. Фільтри тонкого очищення розраховані на термін роботи 0,5-3 роки. Вони не регенеруються, а замінюються на нові. Повітряні фільтри використовуються в системах припливної вентиляції й кондиціонування повітря.

До промислових фільтрів відносяться тканинні, зернисті й грубоволокнисті фільтри, які використовуються для очищення промислових газів з концентрацією золи (пилу) до 60 г/м³. Найбільш поширені тканинні фільтри, які містять гнучку фільтрувальну перегородку, що має форму циліндричних рукавів (рукавні фільтри) (рис. 5.1, д). Ефективність таких фільтрів – більше 99,5 %, а втрати напору складають 1-1,5 кПа при швидкості фільтрування 0,5-2 м/с.

Тканинні фільтри виготовляють з матеріалу, який повинен витримувати високу температуру відхідних газів. Матеріал фільтра повинен бути стійким до підвищеної вологості і дії хімічних сполук. Як матеріал фільтрів використовують вовну, вовняну повсть або лавсан при температурі газів до 130 °С. Для температури близько 260 °С застосовують скловолокно і скловолокно з графітом. Тривалість роботи тканини становить 1-3 роки. Тканинні фільтри зазвичай роблять багатокамерними. Кількість рукавів в одній камері може становити 100 і більше.

Димові гази надходять знизу всередину рукавів, осадження часток пилу відбувається на внутрішній поверхні стінки рукава. При регенерації в одну з камер припиняється подача димових газів, і шари пилу, які прилипили до тканини, видаляються струшуванням або вібрацією рукавів. Відділенню пилу сприяє також струмінь стисненого повітря, що спрямовується проти руху, що здійснюється в процесі фільтрації. Відокремлений пил падає в мішок, що знаходиться під рукавами, і видаляється за допомогою шнеків.

Залишкова концентрація золи (пилу) після тканинних фільтрів може становити 15-50 мг/м³, що задовольняє найбільш жорсткі нормативи.

Промислові електрофільтри (рис. 5.1, е) використовуються для очищення великих об'ємів газу (до 1 млн. м³/год.) з концентрацією часток до 50 г/м². У них відбувається вловлювання часток будь-яких розмірів з ефективністю більш за 99 %. Електрофільтри можуть працювати при температурах газів до 400-450 °С як при розрідженні, так і під тиском. Їхній гідравлічний опір складає 100-150 Па. Витрати енергії складають 0,1–0,5 кВт·год на 1000 м³ газу, що очищується.

Електрофільтри мають такі недоліки: великі габарити, підвищена металоємність, висока вартість, для їхнього обслуговування необхідний кваліфікований персонал.

Електрофільтри поділяються: за конструкцією – на однозонні та двозонні; за напрямком газового потоку – на горизонтальні й вертикальні; за конструкцією осаджувальних електродів – на пластинчаті й трубчаті; за способом видалення пилу з електродів – на «сухі» й «мокрі»; в залежності від кількості послідовно розташованих електричних полів – на однопольові і

багатопольові; в залежності від кількості паралельних електрофільтрів – на одно- і багатосекційні.

Основними конструктивними елементами електрофільтрів є: корпус, де розміщені електроди; вузли підведення, розподілу й відведення газів, що очищуються; пристрій для видалення вловленої пилу з електродів; пристрій для виведення пилу з електрофільтру; вузли введення в електрофільтр струму високої напруги – ізоляторні коробки.

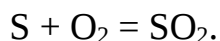
Очищення димових газів в електрофільтрі відбувається в результаті створення нерівномірного електричного поля високої напруги (приблизно 50 кВ) і утворення коронного розряду між електродами. Утворені в зоні коронного розряду іони й електрони викликають струм від коронуючих до осаджувальних електродів – струм корони. Частки золи, перебуваючи між електродами, заряджаються під дією сил електричного поля, рухаються до осаджувальних електродів і осідають на них. При тривалості перебування газів в активній зоні фільтра не менше 8 с і швидкості руху газів 1,2-1,5 м/с ступінь уловлювання становить 99-99,8 %.

Ефективність уловлювання істотно залежить від електричних властивостей газового потоку, перш за все від електричного опору часток золи. З підвищенням питомого електричного опору часток швидкість осадження знижується. Крім того, ефективність роботи електрофільтрів залежить від режиму струшування електродів, для чого найчастіше використовують ударно-молоткові механізми. Проміжки між струшуванням повинні бути оптимізовані для кожного поля, оскільки в кожному наступному полі кількість осаджуваної золи зменшується.

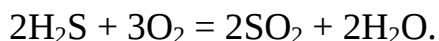
Ефективність очищення димових газів від золи й пилу значно підвищується при використанні комбінації фільтрів, наприклад, мокрого золовловлювача й електрофільтру. Збільшення вологості і зниження температури газів в мокрому золовловлювачі забезпечує ефективне уловлювання часток золи в електрофільтрі. Загальна ступінь уловлювання золи при цьому досягає 99-99,5 %.

5.5. Зниження викидів оксидів сірки

Теплові електростанції і котельні є джерелом викиду сполук сірки в атмосферу. Наявність в димових газах діоксиду сірки обумовлена постійною присутністю в твердому і рідкому паливі (і в природному газі деяких родовищ) різних сполук сірки – сульфідів та органічних сполук. При окислювальному спалюванні палива сірка окислюється до діоксиду:



При відновлювальному спалюванні для отримання генераторного газу утворюється сірководень H_2S , наступне згоряння якого дає той самий діоксид:



Діоксид сірки, що міститься в димових газах, практично не впливає на процес виробництва енергії. Триоксид сірки SO_3 обумовлює сірчаноокислотну

точку роси. За нею вибирають температуру відхідних газів котлів, і вона є одним з основних чинників ефективної роботи газоочищення.

Але практична відсутність впливу SO_2 на процес виробництва енергії «компенсується» активним впливом цієї речовини на навколишнє середовище: діоксид сірки в атмосфері під впливом озону, що утворюється з кисню повітря під дією сонячного світла, окислюється до триоксиду сірки SO_3 , який з'єднується з водяною парою і утворює пару сірчаної кислоти.

Густина пари сірчаної кислоти, так само як і пари азотної кислоти, в 3-4 рази більша за густину повітря. Ця пара під дією гравітації і з атмосферними опадами надходить в ґрунт. В результаті прісноводні водойми та річки закислюються, що призводить до втрати частини флори і фауни і заміни їх іншими, більш стійкими організмами, але не забезпечує необхідну регенерацію води. Крім того, суміш сірчаної та азотної кислот постійно розчиняє важкі метали, вносить їх у прісну воду і таким чином впливає на живі організми.

Скорочення викидів сполук сірки на ТЕС може бути здійснено трьома способами:

- шляхом очищення палива від сполук сірки до його спалювання;
- зв'язуванням сірки в процесі горіння;
- в результаті очищення димових газів.

Методи зменшення викидів оксидів сірки на стадії підготовки палива до спалювання широко використовуються для рідкого і значно рідше для твердого палива. Сірка з нафти видаляється на нафтопереробних заводах в процесі гідрогенізації (або каталітичного гідратування) в присутності кобальт-молібденового каталізатора при температурі 250-500 °C і тиску 1,4-10 МПа. В ході каталітичних реакцій відбувається розпад сірковмісних органічних сполук з утворенням газоподібного сірководню, який відокремлюється і відновлюється потім до елементарної сірки.

Найбільш поширеним способом зв'язування сірки в процесі горіння є спосіб спалювання вугілля в киплячому шарі. Застосування киплячого (псевдозріженого) шару при спалюванні сірчистого вугілля дозволяє значно зменшити вміст оксидів сірки й азоту в димових газах. Для утворення киплячого шару на нерухомій решітці, через яку подається повітря під тиском, використовується суміш дробленого вугілля з розмірами часток 1,5-6 мм, інертного матеріалу (піску, золи та ін.) і вапняку. Під дією висхідного потоку повітря утворюється суспензійний киплячий шар. Одночасно з процесом горіння протікає процес десульфуризації, оскільки в киплячий шар безперервно вводиться вапняк, який складається в основному з CaCO_3 .

В результаті реакції, що протікає при температурі $t \approx 800-850$ °C, утворюється гіпс. Ефективність видалення сірки в цьому випадку залежить від кількості вапняку. Підтримка співвідношення Ca/S приблизно в 1,5 рази більше за стехіометричне дозволяє на 80 % зв'язати SO_2 і на виході з топки отримувати його концентрацію до 200 мг/м³.

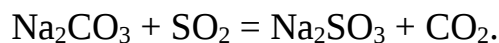
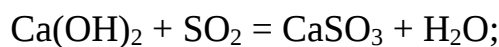
В даний час широко застосовуються різні варіанти й модифікації процесу мокрого абсорбційного газоочищення з використанням як сорбенту суспензій на основі вапняку CaCO_3 або вапна CaO (мокрый вапняковий спосіб). Значно

рідше використовуються методи мокрою очищення із застосуванням сульфіту натрію Na_2SO_3 , сульфіту амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ та інших компонентів.

Мокрий вапняковий спосіб заснований на інтенсивній промивці димових газів в абсорбері, встановленому за високоефективним золовловлювачем, вапняковою суспензією з отриманням двоводного гіпсу. Ця технологія є абсолютно безпечною, оскільки і вапняк, і гіпс – нейтральні малорозчинні речовини.

Останнім часом все більшого поширення знаходить мокросухий спосіб очищення від оксидів сірки вапном $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або содою Na_2CO_3 .

Мокросухим називається такий спосіб, коли в порожнистий абсорбер, що продувається димовими газами, впорскують суспензію, яка пов'язує діоксид сірки, а рідина суспензії за рахунок теплоти димових газів повністю випаровується. При цьому мають місце реакції з утворенням сульфатів кальцію або натрію:



Якщо абсорбер встановлюється перед золовловлювачами, то продукти сіркоочищення уловлюються золовловлювачами і відправляються в золовідвал. Якщо ж абсорбер знаходиться за золовловлювачами, то встановлюється спеціальний пиловловлювач для очищення димових газів від сульфіту кальцію. Ефективність очищення димових газів цим методом може досягати 90%.

До переваг мокросухого способу відносяться: простота технологічної схеми; менші, ніж при мокрому вапняковому способі, капітальні витрати; менша витрата теплової енергії на підігрів димових газів в порівнянні зі схемою мокрого вапнякового способу; відсутність стічних вод.

Недоліками способу є: значне енергоспоживання (3-6% потужності ТЕС); підвищена витрата дорогих реагентів (вапна або соди); низька якість сухих відходів (відсутність гіпсових в'язучих речовин); необхідність установки системи очищення димових газів від твердих часток (продуктів реакцій) після абсорбера.

5.6. Зниження викидів оксидів азоту

Найбільш небезпечними викидами ТЕС і котелень є оксиди азоту. Вміст оксидів азоту визначає токсичність продуктів згоряння вугілля і мазуту на 40-50 %, а природного газу – на 90-95 %. Крім того, оксиди азоту під впливом ультрафіолетового випромінювання активно беруть участь у фотохімічних реакціях в атмосфері з утворенням інших шкідливих газів.

Оксиди азоту антропогенного походження становлять менше 10 % всіх оксидів азоту, що надходять в атмосферу Землі. Однак саме антропогенні викиди становлять найбільшу небезпеку, оскільки вони зосереджені у великих промислових центрах.

Серед різних оксидів азоту практичне значення в екологічному аспекті мають монооксид NO і діоксид NO_2 , суму яких позначають NO_x . Джерелом

утворення оксидів азоту служить азот повітря і палива. В даний час добре вивчені три принципово різних джерела утворення оксидів азоту:

- утворення термічних NO_x з молекулярного азоту повітря при температурі вище 1300°C ;
- утворення NO_x з азоту, що міститься в паливі (паливні NO_x);
- утворення NO_x шляхом реакції молекулярного азоту повітря з вуглеводневими радикалами («швидкі» NO_x).

Зменшення утворення NO_x досягається реалізацією первинних заходів, спрямованих: на зниження температури горіння; на зменшення часу перебування продуктів згорання в області високих температур; створення зон реакцій з відновлювальною атмосферою (надлишок повітря менше одиниці), де утворення NO з азоту палива ускладнено, і відновлення оксидів азоту йде до молекулярного азоту.

Для зниження викидів азоту на ТЕС і в котельнях проводять такі первинні або режимно-технологічні заходи:

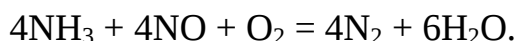
- використання пальників з низьким викидом NO_x ;
- поетапне спалювання палива;
- ступінчата подача повітря;
- рециркуляція димових газів;
- впорскування води (або водомазутної емульсії) в ядро факела;
- комбінація первинних заходів.

Первинні заходи малозатратні, і тому їх застосовують насамперед для забезпечення нормованих викидів оксидів азоту.

Другим шляхом зниження викидів оксидів азоту є очищення димових газів від оксидів азоту, що вже утворилися.

Найбільшого поширення в світі отримав процес селективного каталітичного відновлення (СКВ) оксидів азоту аміаком на поверхні каталізатора в присутності кисню при температурі $300\text{--}450^\circ\text{C}$. Каталізатор виконується на керамічному або металевому носії і включає в себе діоксид титану, пентаоксид ванадію з добавками інших металів.

Застосовуються каталізатори пластинчастої, стільникової і гофрованої конструкції. В процесі СКВ оксиди азоту відновлюються аміаком на каталізаторі з утворенням молекулярного азоту й водяної пари і без формування вторинних забруднювачів:



Основні елементи обладнання для процесу СКВ включають в себе реактор, сховище аміаку і систему впорскування. Реактор СКВ зазвичай містить кілька шарів каталізатора, що дозволяє забезпечувати поступову його заміну по мірі «отруєння». Зі збільшенням об'єму каталізатора зростає ступінь очищення газів від оксидів азоту і знижується проскакування аміаку, але разом з тим зростає і вартість СКВ.

Як правило, реактор розміщується за економайзером перед повітропідігрівачем. Але при високій запиленості потоку і значній кількості в димових газах речовин, що отруюють каталізатор, можливе його розміщення за

золовловлювачами. У цьому випадку буде потрібний додатковий підігрів газів перед входом в реактор.

Для відновлення оксидів азоту можна застосовувати рідкий безводний аміак під тиском, водний розчин аміаку при атмосферному тиску або розчин сечовини. Ступінь відновлення оксидів азоту зростає зі збільшенням кількості введеного аміаку, але при цьому зростає і його проскакування. Оптимальне мольне співвідношення NH_3/NO_x складає 0,9-1,03. Ступінь очищення газів від оксидів азоту може бути 92-94 %.

Хімічна реакція відновлення оксиду азоту до молекулярного азоту аміаком або сечовиною при високих температурах може протікати без застосування каталізатора. Цей метод отримав назву селективного некаталітичного відновлення (СНКВ) оксидів азоту. Реакція відновлення протікає при температурі 950-1100 °С. При зниженні температури швидкість реакції знижується, що призводить до збільшення проскакування аміаку.

На один моль NO потрібно вводити один моль NH_3 . На практиці дуже важко забезпечити рівномірне перемішування невеликої кількості аміаку з великими об'ємами димових газів і доводиться вводити дещо більше аміаку (мольне співвідношення $\text{NH}_3/\text{NO} = 1,05-1,10$). Для відновлення оксиду азоту за методом СНКВ потрібно значно менше капітальних і експлуатаційних витрат в порівнянні з методом СКВ, але ефективність СНКВ не перевищує 50 % [7].

ЛІТЕРАТУРА

1. Ардашев В.О., Луняка К.В., Чумаков Г.А. Машины і апарати хімічних виробництв. Курс лекцій: Навчальний посібник. – Херсон: ХНТУ, 2008 – 153 с.
2. Богословский В.Н., Щеглов В.П., Разумов Н.И. Отопление и вентиляция. – М.: Стройиздат, 1980. – 293 с.
3. Водяные тепловые сети. Справ. пособие по проектированию И.В. Балейкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; Под ред. Н.К. Громова. Е.П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.
4. Гичёв Ю. А. Источники теплоснабжения промышленных предприятий. Часть I: Конспект лекций: Днепропетровск: НМетАУ, 2011. – 52 с.
5. Машины и аппараты химических предприятий / Под. ред. д.т.н. Н.И. Чернобыльського. 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1975. – 454 с.
6. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. Справ./ В.М. Монюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хипс и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.
7. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: учеб. пособие / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.Н. Ремезов и др.; под ред. А.С. Седлова. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 378 с
8. Полещук И.З., Цирельман Н.М. Введение в теплоэнергетику: Учебное пособие / Уфимский государственный авиационный технический университет. – Уфа, 2003. – 245 с.
9. Прядко М.О., Павелко В.І., Василенко С.М. Теплові мережі: Навчальний посібник / За ред. М.О.Прядка. – К.: Алерта, 2005. – 227 с.
10. Промышленные тепломассовые процессы и установки. Учебник для вузов. А.М. Бакластов и др. Под. ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.
11. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
12. Теплоиспользуемые установки промышленных производств. Под. ред. О.Т. Ильченко. – Харьков, “Высшая школа”, 1985. – 368 с.
13. Теплоснабжение. Учеб. пособие для студентов вузов / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков и др. – М.: Высш. шк., 1980. – 408 с.
14. Теплоснабжение (курсовое проектирование). Учеб.пособие для вузов/ В.М.Копко и др. – Минск: Высш. шк., 1985. – 139 с.
15. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования. Справочник. Изд. 2-е. перераб. и доп. Т 2. – Калуга: Изд-во Н.Бочкаревой, 2002. – 1028 с.
16. <http://www.pandia.ru/text/77/220/10017.php>.
17. <http://ukrdoc.com.ua/text/59242/index-1.html>

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	4
1.1. Складові систем теплопостачання.....	4
1.2. Класифікація систем теплопостачання.....	5
2. ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	8
2.1. Види джерел теплопостачання.....	8
2.2. Парові, водогрійні та пароводогрійні котельні.....	8
2.2.1. Класифікація котельних в системах теплопостачання.....	8
2.2.2. Технологічна структура котельні.....	9
2.2.3. Котельні установки.....	10
2.2.3.1. Класифікація, параметри та типорозміри котлів.....	10
2.2.3.2. Схема котельної установки.....	11
2.2.4. Теплова потужність котельні.....	11
2.2.5. Техніко-економічні показники котельні.....	12
2.2.6. Водний режим котла.....	14
2.2.7. Розрахунок котлів.....	14
2.2.8. Тепловий баланс котла.....	15
2.3. Теплоелектроцентралі та інші типи електричних станцій.....	16
2.3.1. Класифікація електричних станцій в залежності від виду споживачів.....	16
2.3.2. Типи паротурбінних електричних станцій. Теплоелектроцентралі.....	16
2.4. Теплоутилізаційні установки, які використовують вторинні енергоресурси.....	19
2.5. Нетрадиційні джерела теплоти.....	19
2.6. Використання електричної енергії в системах теплопостачання.....	20
3. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ.....	20
3.1. Характеристика схем приєднання споживачів до теплопостачання.....	20
3.2. Приєднання котельних до теплових мереж систем теплопостачання.....	24
3.2.1. Приєднання парової котельні до парової системи теплопостачання.....	24
3.2.2. Приєднання парової котельні до водяної системи теплопостачання.....	25
3.2.3. Приєднання парової котельні до пароводяної системи теплопостачання.....	26
3.2.4. Приєднання водогрійної котельні до теплової мережі.....	26
3.2.5. Приєднання пароводогрійної котельні до теплової мережі.....	27
3.3. Трубопроводи.....	29
3.3.1. Трубопроводи та їхня категорійність.....	29
3.3.2. Труби, деталі, компенсатори, опори.....	30
3.3.3. Трубопровідна арматура.....	34

3.3.4. Запірна арматура	34
3.3.5. Регульовальна арматура	37
3.3.6. Фазорозподільна арматура	38
3.3.7. Запобіжна арматура	38
3.3.8. Рекомендації щодо встановлення арматури	40
3.3.9. Особливості монтажу та експлуатації трубопроводів	41
3.3.10. Траса і профіль трубопроводів	43
3.3.11. Теплоізоляційні матеріали для трубопроводів	44
3.3.12. Конструкції трубопроводів	45
3.4. Теплові пункти	47
4. СПОЖИВАЧІ ТЕПЛОТИ	49
4.1. Теплоспоживання, види споживачів теплоти	48
4.2. Системи опалення	50
4.2.1. Призначення і види опалювальних установок	50
4.2.2. Водяні системи опалення	50
4.2.2.1. Класифікація систем водяного опалення за схемою розташування труб стояків	51
4.2.2.2. Класифікація систем водяного опалення за розташуванням подавального трубопроводу (розвідного)	52
4.2.2.3. Класифікація систем водяного опалення за напрямком руху води в подавальному й зворотному трубопроводах	53
4.2.2.4. Класифікація водяних систем опалення за характером циркуляції води в системі	54
4.3. Гаряче водопостачання	54
4.3.1. Види систем гарячого водопостачання в залежності від ступеня централізації	55
4.3.2. Види систем гарячого водопостачання в залежності від циклу готування гарячої води	55
4.3.3. Види систем гарячого водопостачання в залежності від використання рециркуляції	56
4.3.4. Обладнання установок гарячого водопостачання	57
4.4. Вентиляція і кондиціонування повітря	58
4.4.1. Санітарно-гігієнічні та технологічні основи	58
4.4.2. Шкідливості виробництва	63
4.4.3. Тепловий баланс виробничого приміщення	65
4.4.4. Кондиціонування повітря	70
4.4.4.1. Призначення і види процесу	70
4.4.4.2. Основні характеристики вологого повітря	71
4.4.4.3. Зволоження повітря	74
4.4.5. Вентиляційна система	75
4.5. Технологічні процеси зі споживанням теплової енергії	77
4.5.1. Основні характеристики процесу сушіння	78
4.5.2. Способи сушіння. Зображення процесу в $d - h$ -діаграмі	78
4.5.3. Тепловий баланс сушарки	79
4.5.4. Будова сушарок	80

4.6. Системи регулювання відпуску теплоти.....	81
5. ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ВИКИДІВ ТЕС І КОТЕЛЬНИХ.....	84
5.1. Вплив енергетики на природне середовище і клімат.....	84
5.2. Викиди теплових електростанцій та котелень на органічному паливі в атмосферу.....	85
5.3. Розрахунок розсіювання шкідливих домішок і вибір висоти димової труби.....	86
5.4. Очищення продуктів згоряння від золи і пилу.....	89
5.5. Зниження викидів оксидів сірки.....	93
5.6. Зниження викидів оксидів азоту.....	95
ЛІТЕРАТУРА.....	98

К.В. Луняка, Б.В. Димо, В.С. Корнієнко, Д.В. Коновалов

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
з дисципліни**

**ДЖЕРЕЛА ТА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
ПРОМИСЛОВИХ І КОМУНАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Підписано до друку 17.052019 р.
Формат А5 60х90х16. Папір офсетний
Друк: різнограф. Умовно-друк. арк. 4,63
Замовлення № 6918. Наклад 100 прим.

Надруковано у видавництві ХНТУ
73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24