

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра теплотехніки і теплових двигунів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

з дисципліни

«Технологічні процеси та установки»

Харків – 2014

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри “Теплотехніка і теплові двигуни”

25 лютого 2013 р., протокол № 3.

У методичних вказівках наведені лабораторні роботи з дисципліни “Технологічні процеси та установки”.

Рекомендуються студентам напряму “Теплоенергетика” денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

проф. С.А. Єроценков,
доц. Н.А. Шаройко,
старш. викл. Г.В. Біловол,
асист. О.В. Гришина

Рецензент

доц. С.В. Комар

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт
з дисципліни
«Технологічні процеси та установки»

Відповідальний за випуск Шаройко Н.А.

Редактор Ібрагімова Н.В.

Підписано до друку 04.04.13 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,0. Тираж 25. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кафедра “Теплотехніка і теплові двигуни”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни
“Теплотехнологічні процеси та установки”
для студентів напряму
“Теплоенергетика”
денної та заочної форм навчання

Харків 2014

Методичні вказівки розглянуті і рекомендовані до друку на засіданні кафедри “Теплотехніка і теплові двигуни” 25 лютого 2013 р., протокол №3.

В методичних вказівках наведені лабораторні роботи з дисципліни «Теплотехнологічні процеси та установки».

Рекомендуються студентам напряму **“Теплоенергетика”** денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

професор

доцент

ст. викл.

асистент

С.А.Єрощенко

Н.А.Шаройко

Г.В. Біловол

О.В. Гришина

Рецензент

к.т.н., доц. С.В. Комар

ЗМІСТ

	Вступ	5
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. Теплообмінні апарати, їх класифікація і особливості роботи	6
1.1	Загальна класифікація теплообмінних апаратів	6
1.2	Рекуперативні теплообмінні апарати неперервної дії	7
1.2.1	Кожухотрубчасті теплообмінники	8
1.2.1.1	Високотемпературні рекуператори	9
1.2.1.2	Плівкові конденсатори поверхневого типу	10
1.2.1.3	Випаровувачі і пароутворювачі	11
1.2.2	Секційні теплообмінники	12
1.2.3	Спіральний теплообмінник	13
1.2.4	Пластинчасті теплообмінники	14
1.2.5	Апарати з ребристими поверхнями нагріву	16
1.3	Рекуперативні апарати періодичної дії	17
1.3.1	Водонагрівачі-акумулятори	17
1.3.2	Варильні котли	19
1.3.3	Реакційні апарати	21
1.4	Регенеративні апарати	23
1.5	Змішувальні теплообмінні апарати	28
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. Випробовування кожухотрубчастого теплообмінного апарата	31
2.1	Методика проведення випробувань і опис експериментального стенда	31
2.1.1	Технічна характеристика теплообмінного апарата ..	33
2.2	Порядок виконання роботи	34
2.3	Протокол вимірювань	34
2.4	Методика обробки результатів випробувань	35
2.5	Звіт про роботу	38
2.6	Контрольні питання	38
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. Випробовування ребристого трубчасто-пластинчастого теплообмінного апарата	39
3.1	Мета роботи	39
3.2	Опис експериментального стенда та методики випробувань теплообмінного апарата	39

3.3	Порядок виконання роботи	42
3.4	Методика обробки дослідних даних	43
3.5	Звіт про роботу	46
3.6	Контрольні питання	46
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. Визначення теплового балансу дистиляційної установки	47
4.1	Мета роботи	47
4.2	Лабораторна установка	47
4.3	Методика і порядок виконання лабораторної роботи	49
4.4	Методика обробки результатів випробувань	50
4.5	Контрольні питання	52
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. Дослідження процесів у конвективній сушарці з одноразовим використанням сушильного агента	53
5.1	Мета роботи	53
5.2	Лабораторна установка	53
5.3	Методика і порядок виконання лабораторної роботи	54
5.4	Методика обробки результатів випробувань	56
5.5	Контрольні питання	59
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. Дослідження процесу сушіння та розрахунок параметрів сушильної установки	60
6.1	Мета роботи	60
6.2	Опис лабораторного стенда	60
6.3	Порядок виконання роботи	60
6.4	Методика обробки дослідних даних	61
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. Випробовування піскосушарки барабанного типу (робота виконується у локомотивному депо ім. С.М. Кірова)	64
7.1	Мета роботи	64
7.2	Лабораторна установка	64
7.3	Параметри контролю піскосушарки СОБУ-1	66
	Список літератури	67

ВСТУП

Дисципліна «Теплотехнологічні процеси та установки» вивчає теплотехнологічні процеси, апарати, установки та системи, які використовуються в енергогосподарстві промислових і комунальних підприємств, а також на залізничному транспорті. Мета вивчення дисципліни – придбання практичних навичок та умінь з розроблення, розрахунку, проектування, оптимізації та експлуатації теплотехнологічних установок і систем.

Для реалізації даної мети необхідно:

- вивчити фізику процесів, що протікають у теплотехнологічних установках;
- вивчити конструкції, методи розрахунку, проектування та оптимізації елементів та апаратів теплотехнологічних установок;
- закріпити теоретичний матеріал дисципліни шляхом вирішення завдань на практичних заняттях і виконання курсової роботи.

Дисципліна базується на матеріалах курсів: “Хімія”, ”Фізика”, “Вища математика”, “Технічна термодинаміка”, “Тепломасообмін”, ”Гідрогазодинаміка”, “Паливо та основи теорії горіння”, “Прикладна механіка”, і у той же час є базовою для дисциплін: “Котельні установки”, “Високотемпературні процеси та установки”, “Нагнітачі і турбіни”, а також використовується у дипломному проектуванні.

Дані методичні вказівки включають сім лабораторних робіт з різних розділів дисципліни.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. Теплообмінні апарати, їх класифікація і особливості роботи

Теплообмінними апаратами називають пристрої, які призначені для передачі теплоти від одних тіл до других. У теплообмінних апаратах можуть відбуватися різні теплові процеси: зміна температури, випаровування, кипіння, конденсація, розплавлення, твердіння й більш складні - комбіновані процеси.

Кількість тіл, що беруть участь у передачі теплоти, може бути два і більше. Ці тіла називають теплоносіями.

Залежно від призначення виробничих процесів у якості теплоносіїв застосовують різноманітні газоподібні, рідкі та тверді речовини: водяна пара, вода, димові і топкові гази, мінеральні мастила, органічні сполуки, солі та ін.

1.1 Загальна класифікація теплообмінних апаратів

Залежно від призначення теплообмінні апарати поділяють:

- на підігрівники;
- конденсатори;
- випаровувачі;
- пароперетворювачі та ін.

За принципом дії теплообмінники поділяють на поверхневі та змішувальні.

У поверхневих апаратах теплоносії розділені твердими теплопровідними стінками, через які відбувається теплообмін між теплоносіями. Ту частину поверхні, через яку відбувається перенесення теплоти, називають поверхнею нагріву. У свою чергу поверхневі теплообмінники поділяють на рекуперативні і регенеративні.

Коли теплообмін між теплоносіями відбувається через розподільну стінку і тепловий потік не змінює свого напрямку, то теплообмінник називають рекуперативним.

Коли ж два або більше теплоносіїв поперемінно стикаються з однією і тією самою поверхнею нагріву, то теплообмінники називають регенеративними. Причому за час зіткнення з одним теплоносієм стінки апарата отримують теплоту і акумулюють її; у другий період зіткнення другого теплоносія з тією ж поверхнею акумульована теплота передається теплоносію, а напрям теплового потоку змінюється на протилежний.

У більшості рекуперативних апаратах здійснюється неперервна передача теплоти через стінку від одного теплоносія до іншого. Такі апарати є апаратами неперервної дії. Рекуперативні апарати, у яких відбувається періодичний нагрів або охолодження одного з теплоносіїв, відносять до апаратів періодичної дії. Регенеративні апарати у більшості випадків є апаратами періодичної дії. Неперервна робота у таких апаратах здійснюється лише у тих випадках, коли вони обладнані рухомими стінками або насадками, які поперемінно стикаються з потоками різних теплоносіїв.

У змішувальних теплообмінниках тепломасообмін здійснюється шляхом безпосереднього контакту і змішування рідких і газоподібних теплоносіїв.

1.2 Рекуперативні теплообмінні апарати неперервної дії

Конструкції сучасних рекуперативних апаратів поверхневого типу неперервної дії достатньо різноманітні, найбільш розповсюджені з них:

- кожухотрубчасті;
- секційні або «труба в трубі»;
- спіральні;
- пластинчасті;
- теплообмінники з оребренням та ін.

1.2.1 Кожухотрубчасті теплообмінники

Кожухотрубчасті теплообмінники – це такі апарати, які виконані з пучків труб, що зібрані за допомогою трубних решіток і обмежені кожухами і кришками зі штуцерами. Трубний і міжтрубний простори в апараті розмежовані, а кожен з цих просторів може бути поділений за допомогою перегородок на декілька ходів. Перегородки встановлюються з метою підвищення швидкості, тобто інтенсивності теплообміну теплоносіїв. Теплообмінники цього типу призначені для теплообміну між рідиною та газом. Вони застосовуються, коли необхідна велика поверхня теплообміну.

Трубки теплообмінників виготовляють прямими (за виключенням теплообмінників з U-подібними трубками, рисунок 1.1), тому вони легкодоступні для очищення і заміни у випадках протікання.

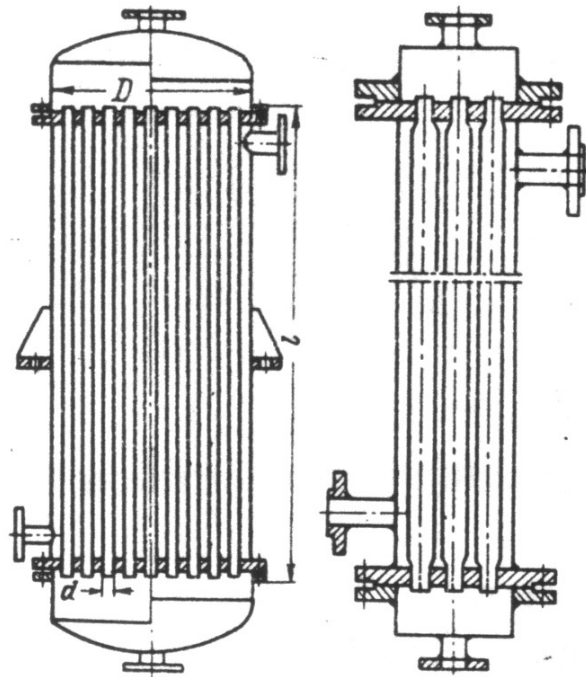


Рисунок 1.1

Рисунок 1.2

У більшості випадках пара (гріючий теплоносій) вводиться у міжтрубний простір, а рідина, що нагрівається, протікає по трубках. Конденсат з міжтрубного простору виходить через

штуцер, що розташований у нижній частині кожуха. Для компенсації температурних подовжень, що виникають між кожухом і трубками, передбачається можливість вільного видовження труб за рахунок різного роду компенсаторів.

Особливість кожухотрубчастих теплообмінників полягає в тому, що прохідний перетин міжтрубного простору великий порівняно з прохідним перетином трубок і може бути більше від останнього у 2,5-3 рази. Тому при однакових витратах теплоносіїв (коли теплообмін відбувається без зміни їх агрегатного стану) частіше отримують зниження швидкості теплоносія та малі значення коефіцієнтів тепловіддачі з боку міжтрубного простору, що значно знижує коефіцієнт теплопередачі в апараті. Для вирівнювання прохідних перетинів можна застосовувати усадку кінців трубок при закріпленні у трубній решітці. Схема такого теплообмінника наведена на рисунку 1.2.

Для зменшення засмічення золою димові гази пропускають всередині трубок, а повітря через міжтрубний простір.

Кожухотрубчасті теплообмінники можуть бути вертикальними і горизонтальними. Вертикальні апарати більш розповсюджені, тому що вони займають менше місця і більш зручно розміщуються у робочому приміщенні. Для зручності монтажу та експлуатації максимальну довжину трубок у них слід брати не більше 5 м.

Щоб уникнути різкого зниження тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки, у корпусі повинні бути передбачені крани для випуску повітря як з нижньої частини апарата над поверхнею конденсату, так і з верхньої його частини.

Регулювання продуктивності пари рідинного теплообмінника можливо шляхом зміни тиску (дроселювання пари, що гріє), зміни витрати теплоносія, що нагрівається, і зміни (підвищення) рівня конденсату в апараті. Для контролю рівня конденсату на корпусі необхідне водомірне скло.

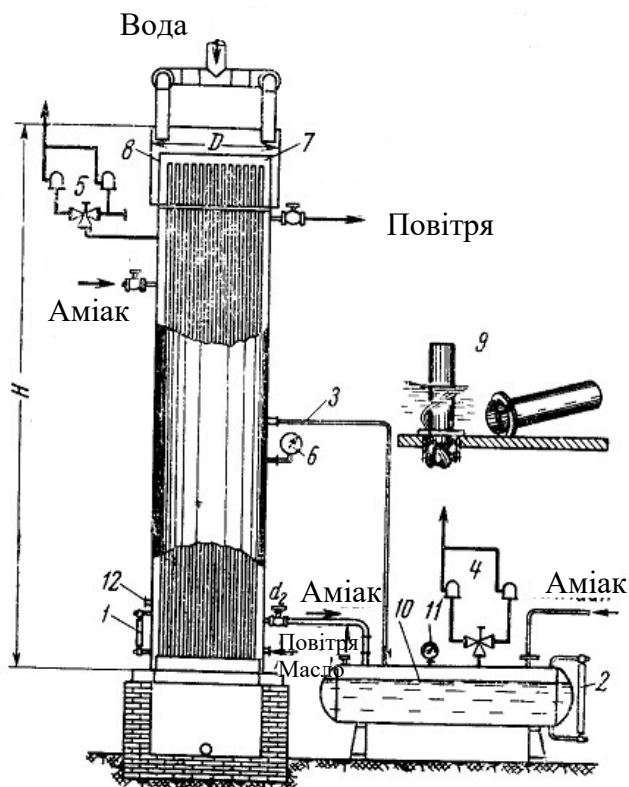
1.2.1.1 Високотемпературні рекуператори

Високотемпературні рекуператори застосовуються для підігріву повітря в промислових печах при температурах 800-900 °С. Це трубчасті рекуператори з вуглеводної сталі і

рекуператори з голчастих труб. При температурі 900-1000 °С використовуються термоблочні рекуператори, у яких гладкі труби знаходяться у чавунному каркасі, який має канали для димових газів. При температурах газу від 1000 до 1200 °С всередині трубок з легованої сталі (з боку повітря, що нагрівається) встановлюють металеві вставки, які нагріваються від радіаційного потоку від зовнішніх стінок і знижують їх температуру.

1.2.1.2 Плівкові конденсатори поверхневого типу

Плівкові конденсатори поверхневого типу знайшли широке застосування у такій промисловості, як холодильна. Вертикальні плівкові конденсатори зображені на рисунку 1.3. Пари аміаку поступають у міжтрубний простір і конденсуються на зовнішній поверхні вертикальних труб. Вода, що охолоджується, поступає у бак, дном якого є верхня трубна решітка, і з нього рівномірно розподіляється по трубах. У кожену трубку встановлюють завихрювач, що забезпечує спіральний рух плівки води по внутрішній поверхні трубки з метою інтенсифікації теплообміну за рахунок більшої швидкості при невеликих витратах води.

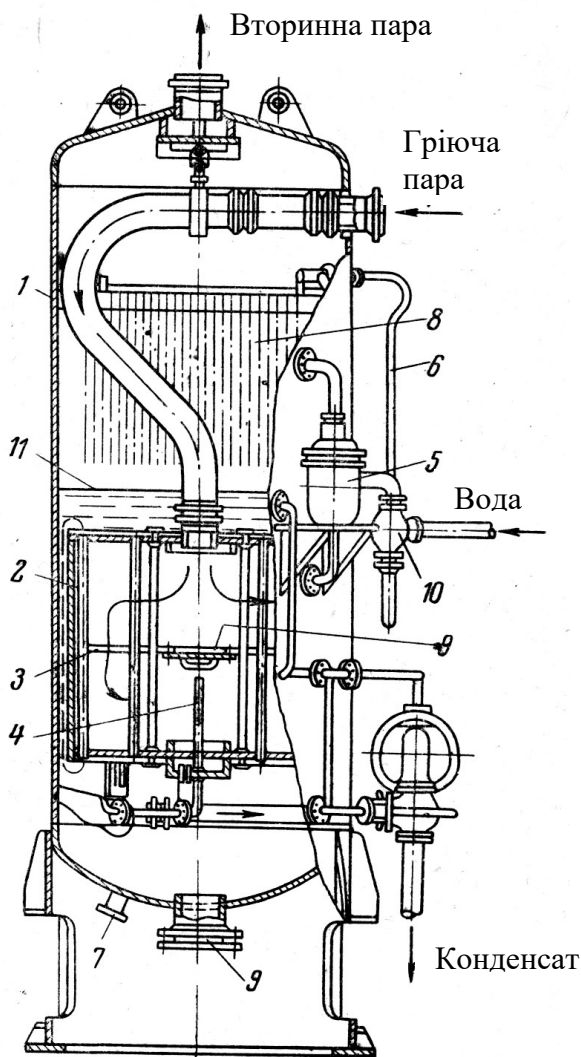


1, 2 – покажчики рідкого аміаку; 3 – вирівнювальна труба; 4, 5 – триходові вентиля; 6, 11 – манометри; 7 – водоприймальний бак; 8 - обичайка; 9 – ковпачки з трубками; 10 – ресивер; 12 – патрубок для приєднання до повітророзподільника

Рисунок 1.3 - Плівковий конденсатор поверхневого типу
 1.2.1.3 Випаровувачі і пароутворювачі

Випаровувачі і пароутворювачі широко застосовують для зменшення і поповнення втрат конденсату. Їх поділяють на апарати з природною циркуляцією води між трубками і з примусовою циркуляцією води у кип'ятильних трубках.

Прикладом випаровувача води з природною циркуляцією може служити вертикальний апарат типу ВСВ (рисунок 1.4).



- 1 – корпус;
- 2 – гріюча секція;
- 3 – перегородка;
- 4 – трубка для відсмоктування повітря із гріючої камери в корпус вторинної пари;
- 5 – поплавковий регулятор живлення;
- 6 – трубопровід хімоочищеної води;
- 7 – зливний патрубок для спорожнення;
- 8 – пінорозмивний пристрій;
- 9 – лаз;
- 10 – конденсатовідвідник;
- 11 – рівень води («дзеркало» випаровування).

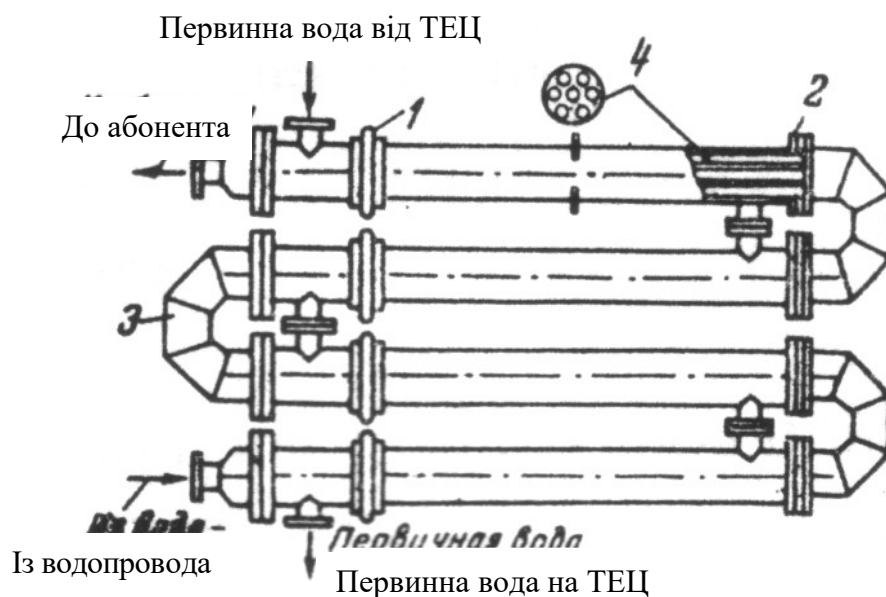
Рисунок 1.4 – Вертикальний випаровувач ВСВ

Природна циркуляція у цьому апараті відбувається за рахунок того, що пароводяна емульсія, яка утворюється у

кип'ятильних трубках, має меншу густину, ніж вода у кільцевому зазорі між корпусом і трубною системою, де їй надходить значно менша питома кількість теплоти на одиницю об'єму. При цьому в трубках встановлюється піднімальний рух пароводяної емульсії, а у кільцевому зазорі – опускний рух води. Рівень води в апараті підтримується за допомогою плівкового регулятора живлення вище верхньої трубної решітки. Подача води відбувається через пінорозмивний пристрій, який призначений для того, щоб розмивати шапку піни, яка утворюється над дзеркалом випарювання при значній концентрації домішок, що розчинилися у випареній воді. Первинна пара, що гріє, поступає в міжтрубний простір. Для відділення вологи з вторинної пари у верхній частині парового простору вбудований пристрій, що сепарує.

1.2.2 Секційні теплообмінники

Секційні теплообмінники і теплообмінники «труба в трубі» (рисунок 1.5) при однакових витратах рідини мають меншу різницю у швидкостях руху теплоносіїв у трубах і міжтрубному просторі і підвищенні коефіцієнта теплопередачі порівняно зі звичайними трубчастими теплообмінниками.



- 1 – лінзовий компенсатор; 2 – розбірна трубна решітка;
3 – калач; 4 – трубки

Рисунок 1.5 – Секційний теплообмінник

Для невеликої продуктивності доцільне застосування теплообмінників типу «труба в трубі», що також належать до секційних, але конструктивно простіші: у зовнішню трубу встановлена труба меншого діаметра, відсутні трубні решітки і фланці, усі елементи апарата з'єднані зваркою.

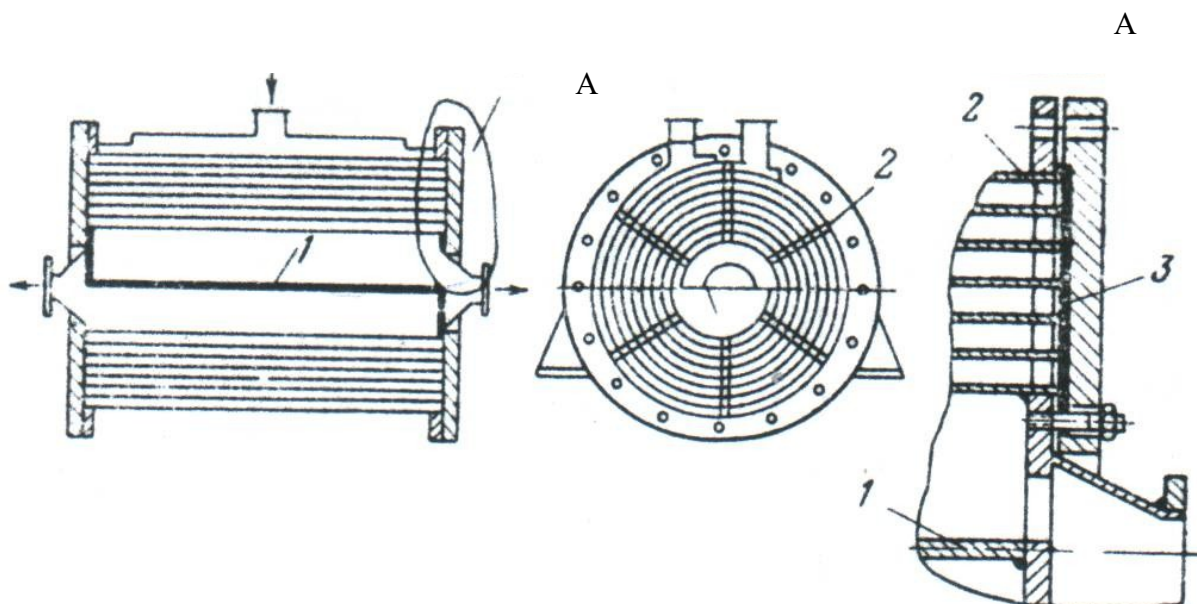
Недоліки секційних теплообмінників:

- по-перше, висока вартість одиниці поверхні нагріву, тому що розподіл її на секції викликає підвищення кількості найбільш дорогих елементів апарата – трубних решіток, фланцевих з'єднань, перехідних камер, компенсаторів і т. ін.

- по-друге, велика довжина шляху рідини, що створює значний гідравлічний тиск і викликає підвищення витрат електроенергії на роботу насоса.

1.2.3 Спиральний теплообмінник

Спиральний теплообмінник наведений на рисунку 1.6.



1 – розподільчі перегородки; 2 – дистанційні штифти;
3 – прокладка

Рисунок 1.6 - Спіральний теплообмінник

Два листи товщиною 3-7 мм (залежно від робочого тиску в апараті) загортаються на спеціальному верстаті у спіралі. Причому за допомогою бобишек, що приварені між листами, зберігається однакова по всій довжині спіралі відстань від 5 до 15 мм між ними. Таким чином, утворюються два канали і кожний з них має напівциліндричну частину в центрі апарата і спіральну частину, яка закінчується коробкою ззовні. Кожний центральний напівциліндр і кожна коробка мають штуцер для входу і виходу теплоносіїв. Спіралі виготовляють таким чином, що торці листів лежать строго в одній площині. Потім їх розміщують між дисками, які є кришками апарата, і стягують болтами. Для поліпшення герметизації і усунення перетікання теплоносіїв між кришками і листами по всьому перетину теплообмінника поміщають прокладку з резини, параніту, азбесту або м'якого металу. Така конструкція забезпечує можливість чищення поверхні нагрівання і роботу без перетікання теплоносіїв при тиску до $4 \cdot 10^5$ Па. Для підвищених тисків і більшої продуктивності застосовують теплообмінники з ускладненою, але найбільш надійною конструкцією ущільнення торців спіралі. Спіральні теплообмінники є горизонтального і вертикального типів; їх встановлюють частіше по два, чотири і вісім апаратів.

Перевагою спіральних теплообмінників порівняно з багатоходовими трубчастими теплообмінниками є підвищена компактність (велика поверхня теплообміну на одиницю об'єму) при однакових коефіцієнтах теплопередачі і менший гідравлічний опір для проходження теплоносіїв: недоліками їх є складність виготовлення і невелика щільність.

1.2.4 Пластинчасті теплообмінники

Пластинчасті теплообмінники бувають різних конструкцій; їх звичайно застосовують, коли коефіцієнти теплообміну для обох теплоносіїв однакові.

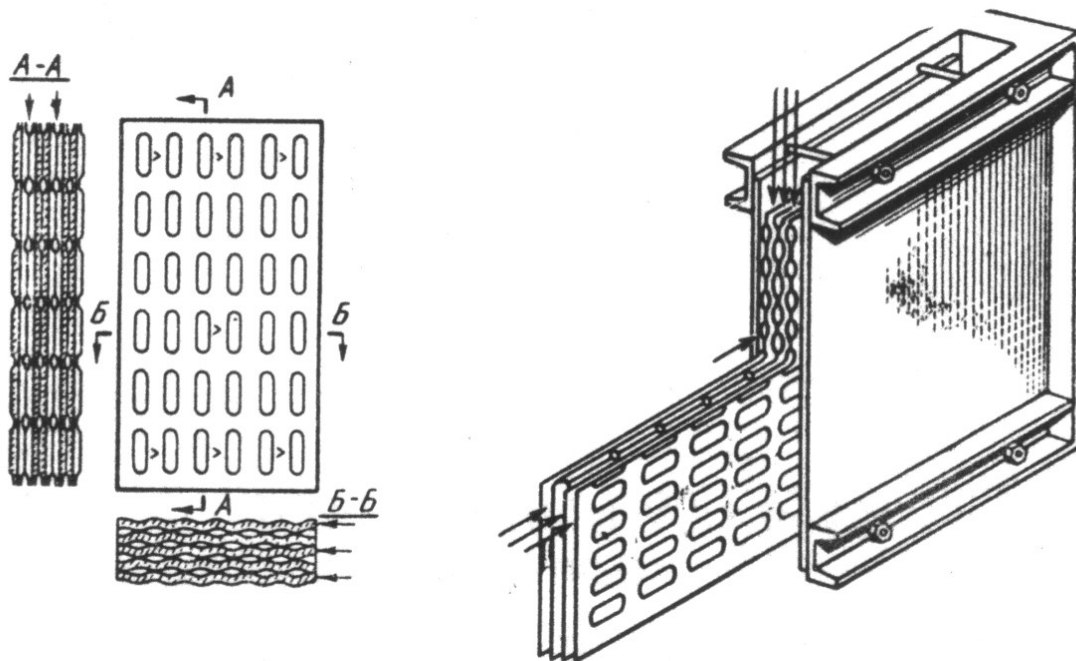
Ці теплообмінники усе частіше використовують у теплових мережах замість кожухотрубчастих. При цьому має місце

економія кольорових металів, а також забезпечується висока питома теплова потужність.

Особливістю пластинчастого теплообмінного апарата є конструкція поверхні, яка утворюється з окремих пластин, а канали для проходження робочої рідини мають при цьому щільну форму. Робочі рідини рухаються біля поверхні теплообміну тонким шаром, що сприяє інтенсифікації процесу тепловіддачі. Форми пластин і профілі їх поверхонь дуже різноманітні. Існують розбірні, напіврозбірні та нерозбірні пластинчасті теплообмінники. У розбірних пластини мають прокладки для ущільнення міжпластинчастих каналів. У робочому положенні пластини щільно притиснуті одна до одної, а простір каналу, який утворюється між пластинами, ущільнюється гумовими прокладками. Гумові прокладки, по-перше, обмежують канали вздовж контуру пластин, а по-друге, ізолюють два з чотирьох отворів на пластині для підведення та відведення однієї з рідин. Інша рідина за рахунок перекриття каналу прокладками на вході між цими пластинами рухається у простір між пластинами, до якого не потрапляє перша рідина. При цьому прокладки чергуються з обох боків однієї пластини таким чином, що по чергово ізолюють отвори підведення та відведення рідин. Отже, після стискування пластин утворюються дві системи герметичних каналів, які ізолювані одна від одної металевою стінкою та гумовими прокладками. Одна з цих систем для гріючої рідини складається, наприклад, з парних каналів, а інша – для рідини, що гріється, – з непарних каналів, завдяки чому потоки рідин чергуються. Обидві системи міжпластинчастих каналів поєднуються зі своїми колекторами, які створено з отворів у пластинах, і далі зі штуцерами для підведення та відведення робочих рідин.

Недоліками конструкцій теплообмінників, які виготовлялися раніше з великими відстанями (15-40 мм) між пластинами, були мала герметичність і застосування лише для газів через незначні допустимі перепади тисків між теплоносіями (декілька сотень паскалів або десятків міліметрів водяного стовпа).

На сьогодні розроблена велика кількість теплообмінників, поверхня теплообміну яких виконана з гофрованих пластин з незначними відстанями між пластинами (6-8 мм) (рисунок 1.7).



а) елемент пакета;

б) модель повітропідігрівача

Рисунок 1.7 – Повітропідігрівач із гофрованих пластин

Ці теплообмінники дуже компактні і за техніко-економічними показниками перевищують навіть трубчасті теплообмінники. Однак вони поки що не можуть застосовуватися у сфері високих температур і тисків, тому їх використовують зараз при тисках до $16 \cdot 10^5$ Па і температурах до 150°C при розбірних конструкціях (між пластинами укладають ущільнені прокладки) і до 400°C – при нерозбірних конструкціях (ущільнення пластин досягають зварюванням). Напіврозбірні пластинчасті теплообмінники мають попарно зварені пластини, які можна розібрати тільки по дві.

1.2.5 Апарати з ребристими поверхнями нагріву

Апарати з ребристими поверхнями нагріву застосовують у

тих випадках, коли теплообмін відбувається між теплоносіями, з яких один має більший, а другий, навпаки, дуже малий коефіцієнт тепловіддачі. Підвищують поверхню теплообміну шляхом оребрення її з боку теплоносія з малим коефіцієнтом тепловіддачі, тим самим підвищують кількість теплоти, що передається і з боку неоребреної поверхні. У ребристих теплообмінниках рідина або конденсуюча пара проходить усередині трубок, а повітря або димові газы, які мають менший коефіцієнт тепловіддачі, – по зовнішній ребристій поверхні.

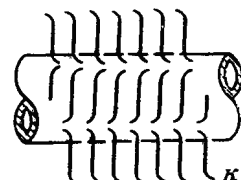
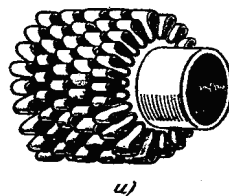
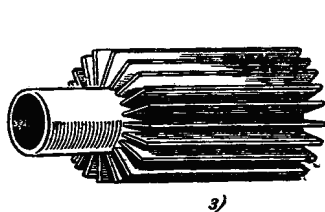
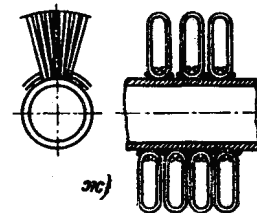
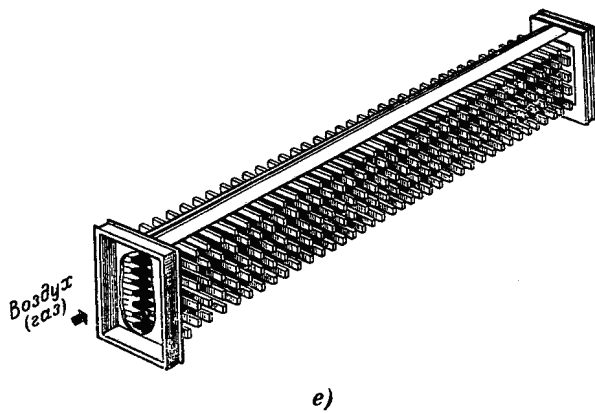
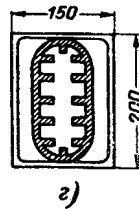
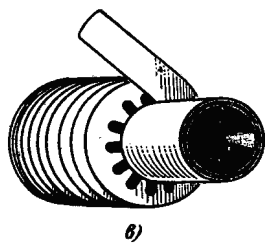
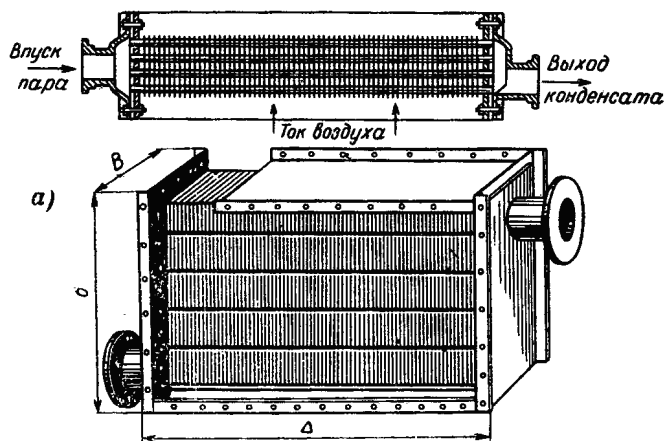
Ребристі теплообмінники виготовляються різноманітних конструкцій. На рисунку 1.8 наведені основні типи ребристих теплообмінників.

1.3 Рекуперативні апарати періодичної дії

Рекуперативні апарати періодичної дії широко застосовують у різних галузях промисловості. До таких апаратів відносять у першу чергу водонагрівачі-акумулятори, варильні котли і реакційні апарати.

1.3.1 Водонагрівачі-акумулятори

Водонагрівачі-акумулятори являють собою сосуди великої ємності з паровим або водяним підігрівом і використовуються у системах гарячого водопостачання з періодичною витратою великої кількості води. Вода у підігрівачах нагрівається за 4-5 годин і витрачається за 20-30 хвилин (наприклад, у душових цехів після зміни). При використанні схеми з теплообмінниками неперервної дії пікова витрата теплоти у них була б у 6-10 разів більше середньогодинної витрати теплоти у водонагрівачах-акумуляторах, тобто воно створювало б пікові навантаження у котельній (рисунки 1.9 і 1.10).



а – пластинчатый; б – чавунна трубка з литими ребрами; в – трубка зі спіральним оребренням; г – чавунна трубка з внутрішнім оребренням; д – плавникове оребрення трубок; е – чавунна трубка з двостороннім голчатим оребренням; ж – дротове біспіральне оребрення трубок; и – прокольне оребрення трубок; к – багаторебриста трубка; л – трубка з цільнокатаних, розрізаних та зігнутих труб

Рисунок 1.8 – Типи ребристих теплообмінників

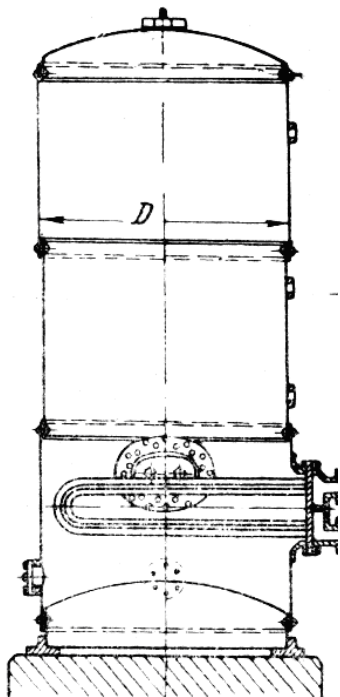


Рисунок 1.9 – Водонагрівач-акумулятор
(вертикальне виконання)

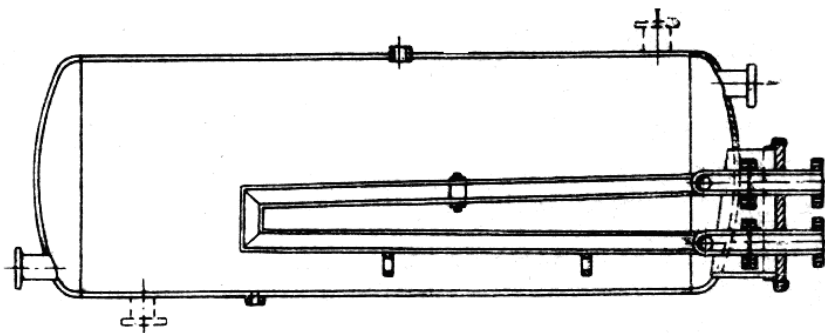


Рисунок 1.10 - Водонагрівач-акумулятор
(горизонтальне виконання)

1.3.2 Варильні котли

У варильних котлах відбувається обробка матеріалів, які нагріваються до визначеної температури і витримуються при ній протягом деякого часу. За визначений період часу у матеріалі відбуваються потрібні зміни, після чого апарат вивільняється. Час

обробки матеріалу в апараті різний залежно від технології виробництва (рисунок 1.11).

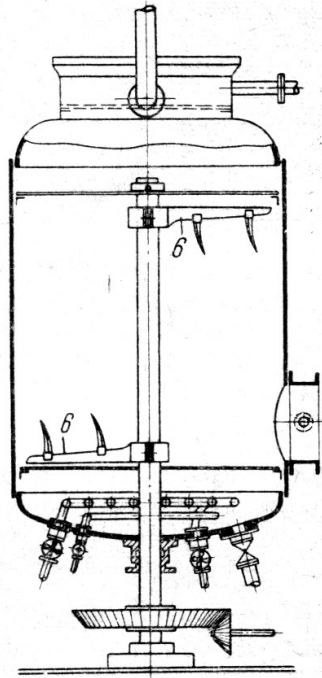


Рисунок 1.11 – Варильний котел з мішалками

Простішим варильним апаратом є відкритий чан, у якому матеріал обробляється рідиною при атмосферному тиску. Матеріал завантажується на несправжнє дно (решітку, перекриття з витворами), розмір вічок у якому визначається розміром кусків матеріалу, що обробляється. Решітка встановлюється на деякій відстані від дна чану. Під несправжнім дном розміщується паровий змійовик з витворами – трубка барботера. Пара відходить з витворів прямо у рідину, конденсується і нагріває її. Такий засіб нагріву рідини парою називають обігрівом гострою парою. Рідина нагріває матеріал, що знаходиться у ній. Недоліком такого засобу є великий шум, який утворюють перфоровані змійовики-барботери. Замість змійовиків встановлюють пароводяні струмінні інжектори, які не мають цього недоліку.

Відкриті чани застосовуються у тих випадках, коли обробка матеріалу відбувається при температурах нижче 100°C і матеріал на виділяє шкідливих парів або газів. При виділенні токсичних

парів або газів апарат закривають герметичною кришкою з витяжною трубою, яка виводиться за межі приміщення.

1.3.3 Реакційні апарати

Термічну обробку твердих і рідких матеріалів при високих температурах і тисках здійснюють у герметизованих апаратах – автоклавах. Нагрів матеріалу, що обробляється у цих апаратах, відбувається гострою парою через трубки барботера або глухою парою за допомогою трубчастих змійовиків або парових сорочок (рисунок 1.12).

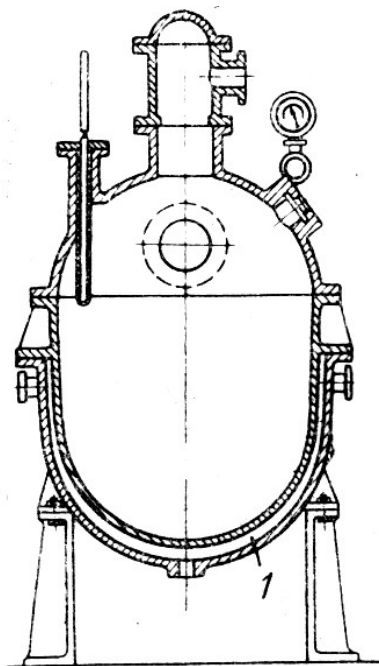
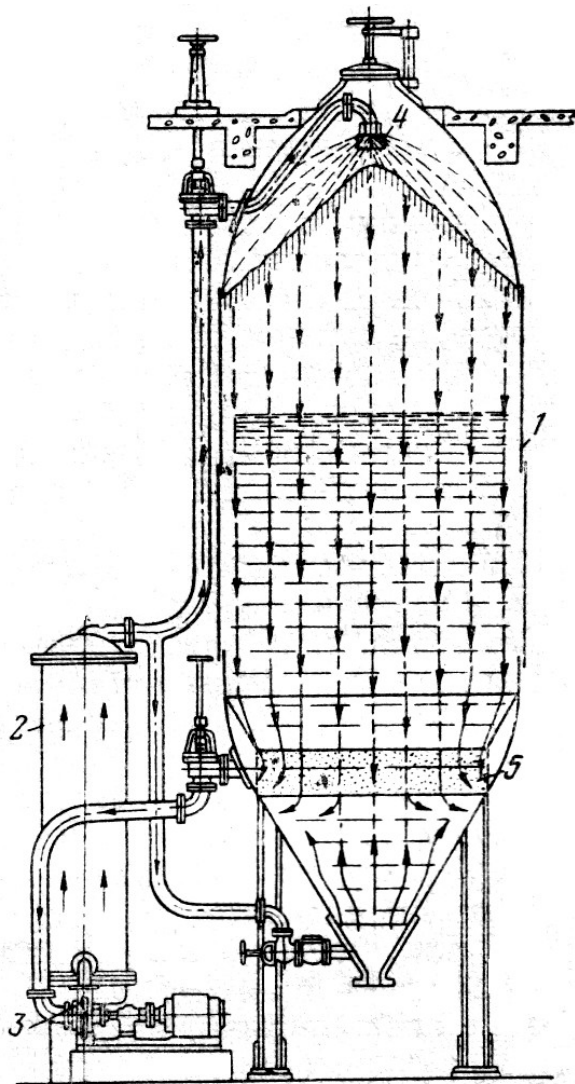


Рисунок 1.12 – Автоклав з паровою сорочкою

Обігрів глухою парою малоефективний порівняно з обігрівом гострою парою унаслідок низького коефіцієнта теплопередачі від теплоносія через стінку до рідини, а потім до матеріалу, тому що теплообмін відбувається тільки за рахунок природної конвекції рідини. Обігрів гострою парою економічніший ніж глухою, однак приводить ТЕЦ або котельню до великого дефіциту конденсату.

З метою збереження конденсату, підвищення ємності апарата або у випадках необхідності заміни гріючої пари гарячою водою використовують апарати з виносними підігрівачами

(рисунок 1.13). В апараті рідина проходить через виносний підігрівач за допомогою циркуляційного насоса.



- парова сорочка;
- виносний підігрівач;
- циркуляційний насос;
- розпилююче сопло;
- фільтруюча захисна сітка;
- мішалка

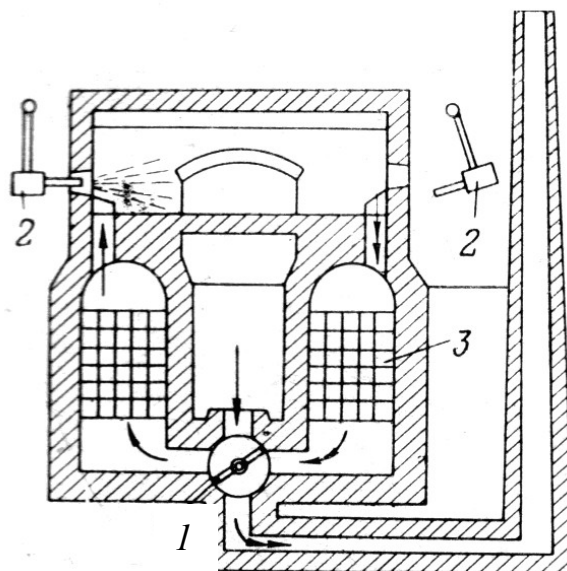
Рисунок 1.13 – Варильний котел з виносним підігрівачем

Для інтенсифікації процесу теплообміну, скорочення часу та економії пари на процесі прогріву матеріалу, що обробляється, часто всередині апарату встановлюються мішалки для перемішування нагріваного матеріалу в обігриваючій рідині. Така досконалість прискорює нагрівання, однак потребує значної витрати енергії на обертання мішалки.

1.4 Регенеративні апарати

До регенераторів відносять велику групу теплообмінників, у яких передача теплоти від одного теплоносія до другого відбувається за допомогою нерухокої або рухокої насадки. У якості насадки застосовують вогнестійку цеглу, металеві листи, пластини, шари, фольгу та ін.

Прикладом регенератора з нерухокою насадкою може служити робота регенераторів мартенівської печі, що працює на мазутному паливі (рисунок 1.14).



1 – перекидний шибер; 2 – форсунки; 3 – насадка

Рисунок 1.14 – Схема рухокої печі з регенераторами

Протягом часу, що відповідає положенню перекидного шиберу, повітря підігрівається до необхідної температури у лівій камері, при цьому насадка в ній охолоджується. У той же період часу насадка правої камери нагрівається відхідними продуктами згоряння. Через деякий проміжок часу перекидний шибер обертається і змінює напрямлення руху повітря і гарячих газів. Тобто у другий період часу насадка лівої камери нагрівається, а

правої – охолоджується, повітря нагрівається. Одночасно з переключенням шибера гасяться форсунки з лівого боку печі і запалюються форсунки справа. У мартенівських печах, що працюють на газі, підігрівають не тільки повітря, але і горючий газ, і тому влаштовують по дві камери з насадкою з кожного боку.

Недоліками регенераторів з нерухомою насадкою є громіздкість, ускладненість експлуатації, що пов'язана з необхідністю періодичних переключень регенераторів, і коливання температури у робочому просторі печі або апарату, яке використовує теплоту, в наслідок зміни температури насадки у процесі теплообміну, тому вони знаходять використання тільки при високих температурах теплоносія, які не допускають використання металевих рекуператорів.

Прикладом регенератора з металевою насадкою (рисунок 1.15) є регенератор з нерухомою насадкою з алюмінієвої гофрованої стрічки, що застосовується у холодильних установках для глибокого охолодження азоту (до -185°C).

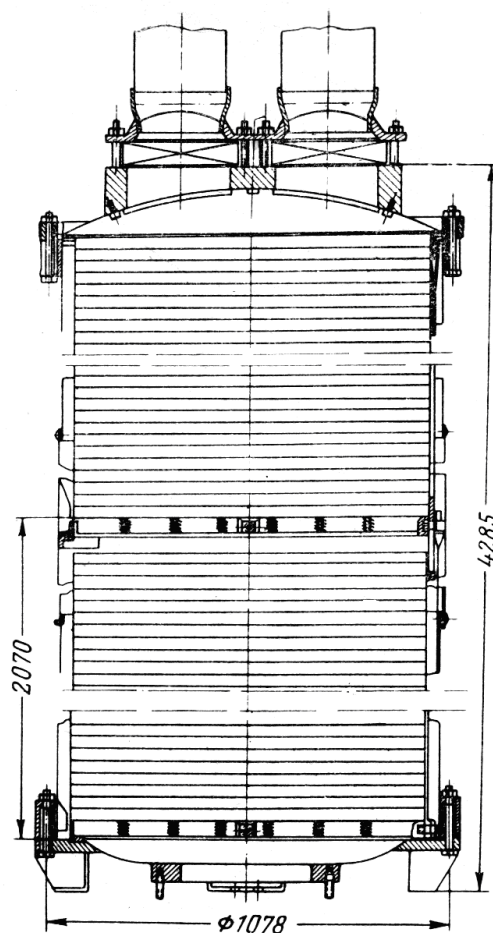


Рисунок 1.15 – Регенератор з нерухомою металевою насадкою

Перевага металевої насадки порівняно з цегельною є велика поверхня теплообміну у невеликому об'ємі. Недоліком цього апарата порівняно з попереднім є великий гідравлічний тиск.

Прикладом регенератора з обертальною металевою насадкою є регенератор Юнгстрема (рисунок 1.16), який отримав застосування на електростанціях у якості повітрянагрівачів для використання теплоти вихідних газів котельних агрегатів. Обертальна насадка апарату складається з профільних металевих листів, які рухаються по колу і перетинають по черзі канали з гарячими газами і нагріваються, а потім передають теплоту повітрю. Швидкість обертання ротора з насадкою невелика і звичайно не перевищує $3-6 \text{ хв}^{-1}$.

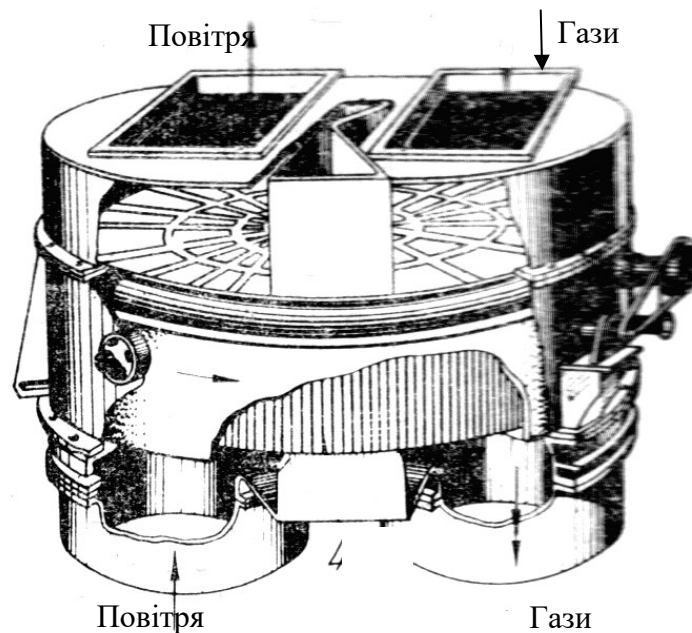


Рисунок 1.16 - Регенератор з обертальною металевою насадкою

Перевагою регенератора Юнгстрема перед регенераторами з нерухомою насадкою є практично постійна середня температура повітря на виході з апарата, яка залежить тільки від температури горючих газів, що надходять в апарат. Порівняно з рекуперативними повітряними підігрівачами перевагою

повітропідігрівача Юнгстрема є компактність. Недоліком є складність конструкції і забруднення повітря газами, що протікають через розподільні перегородки.

На рисунку 1.17 наведений комбінований агрегат вентилятора-димососа з обертальною поверхнею нагріву у вигляді ротора, який виконаний з порожніх герметичних оребрених лопаток, що наполовину заповнені водою. Агрегат поділений по висоті на дві частини. Через нижню частину агрегату проходять гази і випаровують воду, що знаходиться у нижній частині оребрених лопаток. Через верхню частину агрегату проходить холодне повітря і нагрівається від стінок верхньої частини лопаток, заповнених паром. При цьому пара у них конденсується і стікає назад у нижню частину лопаток.

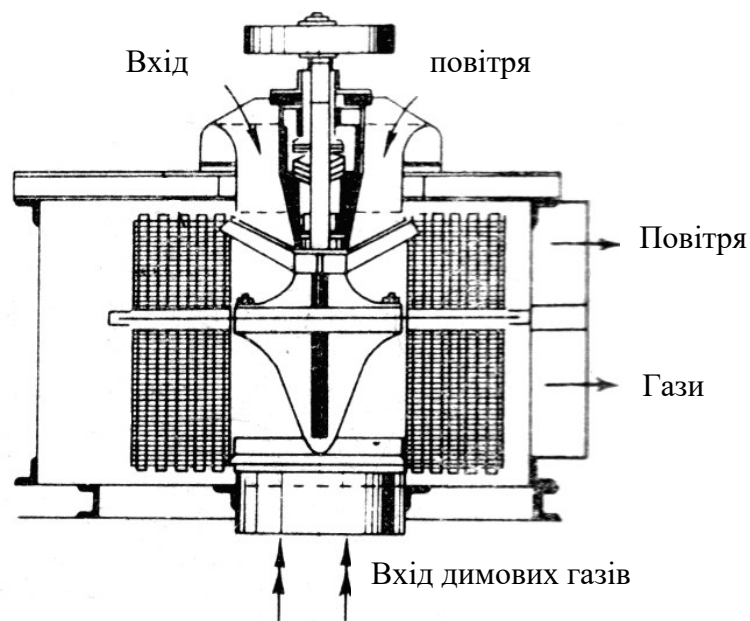


Рисунок 1.17 – Комбінований регенеративний підігрівач

Слідую зазначити, що комбіновані агрегати з обертальною поверхнею нагріву мають поки більш низький к.к.д., ніж звичайні вентилятори і димососи, і тому широкого застосування вони не отримали.

В енергетичних установках з високотемпературними процесами, коли високолеговані сталі недостатньо стійки, отримали застосування теплообмінники з нерухомим, киплячим

або падаючим шаром твердого жаростійкого проміжного теплоносія. У цих теплообмінниках перегрівають водяну пару, нагрівають повітря, газу і пару органічної рідини до температури 1600-2000 °С.

У якості проміжних теплоносіїв застосовують тверді частинки і кульки з каоліну, муліту, оксиду алюмінію, магнію, цирконію та ін. розміром 8-12 мм. Матеріал такого теплоносія повинен бути жаростійким, мати хімічну стійкість, не тріскатися і не розшаровуватися при різких змінах температур, не стиратися і витримувати ударне навантаження, володіти високою теплоємністю, щоби мати меншу вагову кількість при великому тепловому навантаженні і низьку вартість.

На практиці застосовують теплообмінники з проміжними теплоносійми періодичної неперервної дії.

В установках періодичної дії нерухомий або киплячий шар твердого проміжного теплоносія періодично продувається гарячими газами і нагрівається теплоносієм. Принцип дії їх нічим не відрізняється від принципу дії регенераторів промислових печей, що розглядалося вище.

В установках неперервної дії твердий теплоносієй увесь час переміщається за допомогою механічних ківшових елеваторів або пневматичних пристроїв. У теплообміннику з ківшовим елеватором завантажувальні та розвантажувальні штуцери, через які подаються і відводяться кульки, повинні бути завжди заповнені ними і служити ніби гідравлічним затвором, що виключає перетікання газу з камери охолодження у камеру нагріву і навпаки.

При проектуванні установок з рухомим твердим теплоносієм високі вимоги висувають до герметизації газів, що охолоджуються і нагріваються, а також виникають великі конструктивні труднощі, які обумовлені високою температурою частинок і необхідністю регулювання їх витрат. Експлуатація таких установок ускладнюється стиранням частинок і швидким абразивним зносом усіх трактів їх руху. При пневматичному транспортуванні частинок особливо швидко руйнуються труби зі звичайної сталі та внутрішні стінки апарата, окрім випадків, коли вони облицьовані карборундом.

1.5 Змішувальні теплообмінні апарати

У промисловості знайшли широке застосування змішувальні теплообмінні апарати, у яких тепло-масообмін між теплоносіями відбувається безпосередньо, без теплопровідної стінки між ними. У більшості випадків це апарати неперервної дії. Залежно від призначення вони мають різноманітні технічні назви:

- для осушення або зволоження повітря в установках кондиціонування застосовують кондиціонери;
- очищення повітря або газів від пилу, золи, смоли шляхом промивання їх водою використовують скрубери;
- нагрів рідини за рахунок теплоти повітря, газу або пари здійснюється у змішувальних підігрівниках чи конденсаторах;
- охолодження великих кількостей циркуляційної води від конденсаторів парових турбін електричних станцій досягається тепло-масообміном її з повітрям у градирнях та ін.

За конструктивними ознаками розрізняють такі типи теплообмінників змішення:

1 Порожні або безнасадкові колони або камери (рисунок 1.18, а), у яких рідина розпилюється форсунками у газове середовище. Стикання між рідиною і газом відбувається на поверхні крапель рідини, що утворюється при розпилюванні.

2 Насадкові колони (рисунок 1.18, в), у яких стикання газу з рідиною відбувається на поверхні насадок, що змочені. Перевагою насадкових колон порівняно з безнасадковими є менші габаритні розміри. Їх недолік полягає у більшій витраті електроенергії на вентилятор, яка підвищується по мірі забивання насадок різними твердими відкладеннями, що містяться у газах або розчинах, що розпилюються.

3 Каскадні апарати, які мають усередині горизонтальні або похилі полицки або перегородки, завдяки яким рідина повільно

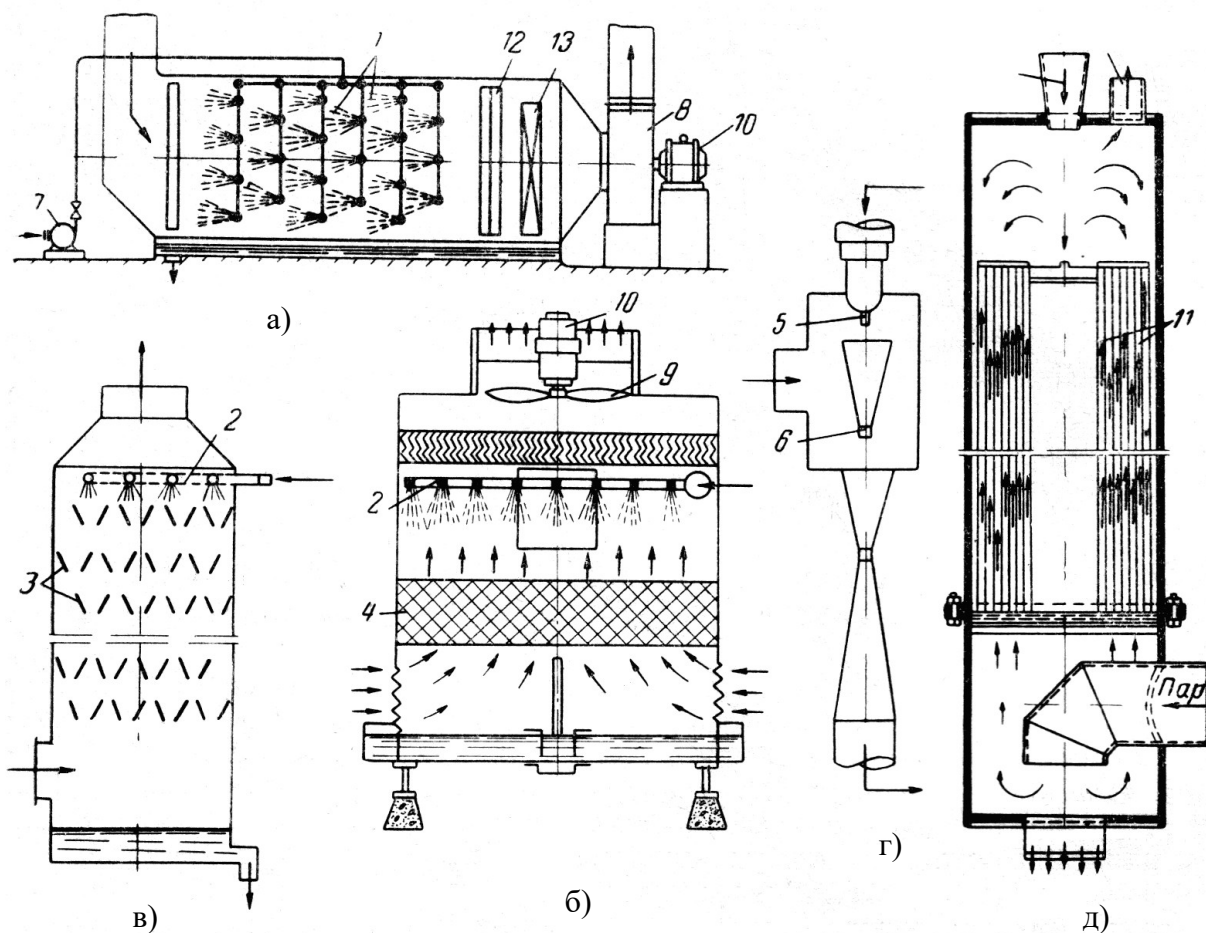
перетікає з полицки на полицку, як це наведено на рисунку 1.18, б.

4 Струмінні змішувальні апарати, у яких відбувається нагрівання води ежектованою або ежектуючою парою (рисунок 1.18, г). Різниця між температурою насиченої пари, що ежектується, і температурою нагрітою води становить 15-20 °С, а у двосоплових – 10 °С.

5 Плівкові змішувальні підігрівачі (рисунок 1.18, д). Нагрівання води водяною парою відбувається до температури насичення пари. Перевага цієї конструкції порівняно з поверхневими підігрівачами полягає у простоті, компактності, меншій вазі і незалежності коефіцієнта теплообміну від чистоти поверхні, тобто від забруднення її накипом, маслом та ін. Такі апарати звичайно працюють з незначним збитковим тиском. Недоліком плівкових підігрівачів є корозія поверхні апаратів і трубопроводів через наявність у воді і, частково, у конденсуючій парі значної кількості кисню.

6 Пінні апарати отримали застосування для уловлення з газів погано змоченого пилу. Швидкість потоку газу, що набігає на решітку, звичайно приймають 2-2,5 м/с. При більшій швидкості підсилюється винесення води у вигляді бризок, а при меншій швидкості зменшується піноутворення, і значна частина рідини (більше 50 %) зливається через отвори решітки. У нормальних умовах роботи половина рідини зливається через отвори у решітці і половина через зливний поріг. Ступінь очищення може становити 90-95 %.

Теплообмін в апаратах контактного або змішувального типів пов'язаний з масообміном і вивчений ще недостатньо. Аналіз цих процесів на Н-d – діаграмі вказує, що у всіх випадках процеси тепло-масообміну підкоряються такому правилу. коли порційний тиск пари рідини у газі більший, ніж тиск пари над зовнішньою поверхнею крапель рідини (у плівці Прандтля), то відбувається осушення газу, коли ж тиск пари знаходиться у протилежному співвідношенні, то має місце зволоження газу. Причому при одній і тій самій початковій температурі повітря коефіцієнт теплопередачі процесу при осушенні менше, ніж при зволоженні.



а – безнасадкові форсункові; б – каскадні; в – насадкові;
 г – струминні; д – плівковий з насадкою із циліндрів;

1 – форсунки; 2 – труби, які розподіляють воду; 3 – каскади;
 4 – насадка; 5 і 6 – сопла першого та другого ступенів
 струминного змішувача; 7 – насос; 8 і 9 – відцентровий та
 осьовий вентилятори; 10 – електродвигун; 11 – концентричні
 циліндри; 12 – ілюмінатори – сепаратори вологи;
 13 – підігрівач повітря

Рисунок 1.18 – Типи змішувальних теплообмінників

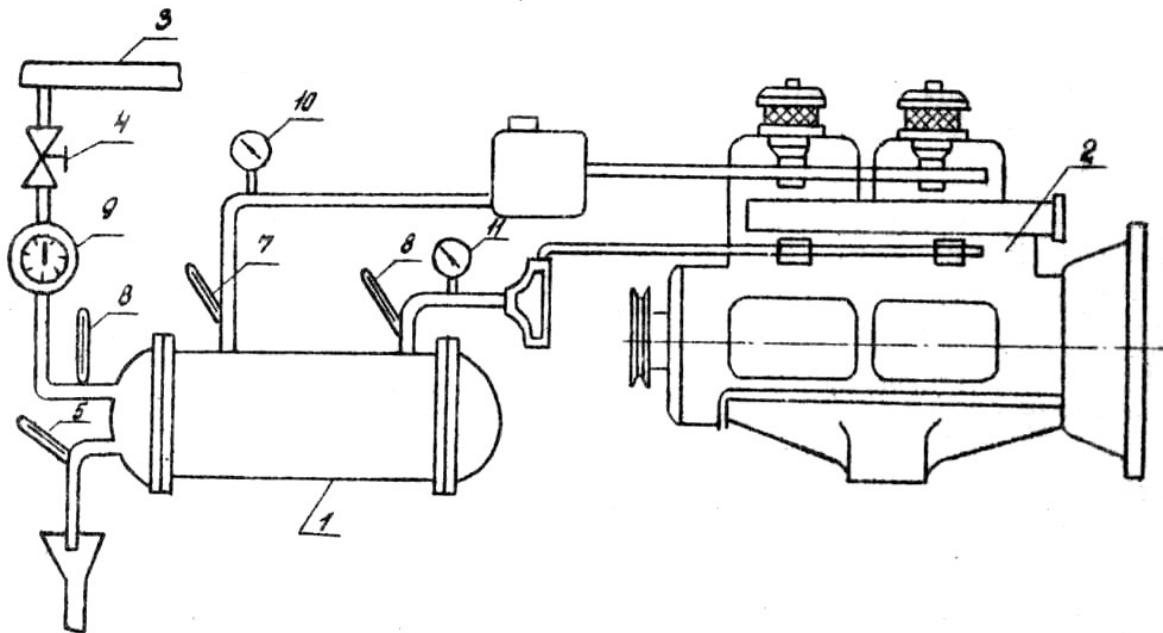
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. Випробовування кожухотрубчастого теплообмінного апарата

Мета:

- 1) ознайомитися з конструкціями теплообмінного апарата та дослідного стенда;
- 2) вивчити методики проведення випробувань і обробки експериментальних даних;
- 3) провести випробування теплообмінного апарата;
- 4) обробити експериментальні дані і визначити теплотехнічні та гідравлічні характеристики дослідного теплообмінного апарата.

2.1 Методика проведення випробувань і опис експериментального стенда

Схема експериментального стенда наведена на рисунку 2.1.



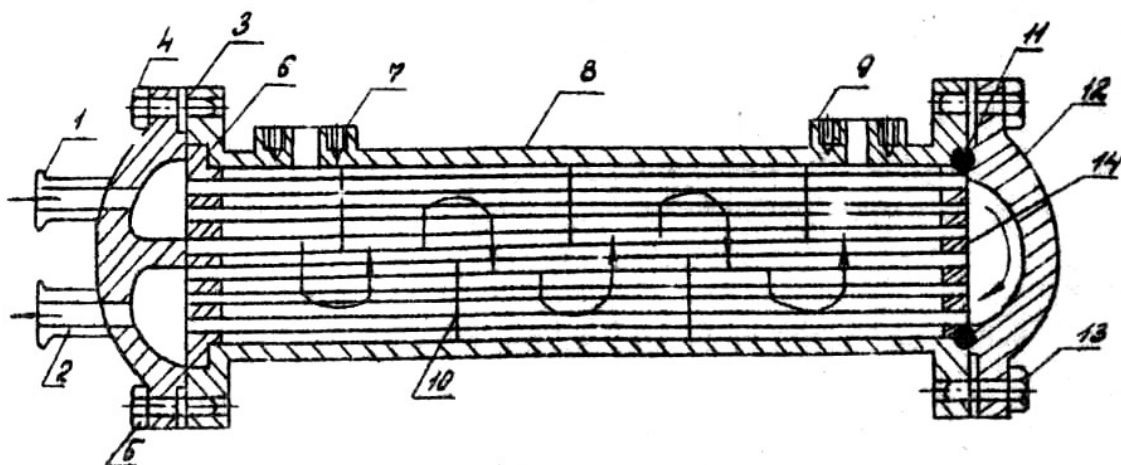
1 – теплообмінник; 2 – двигун; 3 – водопровідна мережа;
 4 – вентиль; 5, 6, 7, 8 – ртутні термометри; 9 – витратомір;
 10, 11 – манометри

Рисунок 2.1 – Схема лабораторного стенда

У теплообміннику 1 у якості гарячого теплоносія використовується вода системи охолодження дизеля 4Ч8,5/11 2, а в якості холодного - вода з міської водопровідної мережі 3. Гаряча вода надходить у міжтрубний простір теплообмінника, а холодна - у трубний. Зміна витрати холодної води здійснюється за допомогою вентиля 4, гарячої - шляхом зміни швидкісного режиму дизеля. У процесі випробувань реєструється температура теплоносіїв на вході та виході теплообмінника, витрата σ_x і втрата тиску холодної води Δp_x . Температури теплоносіїв вимірюються за допомогою ртутних термометрів 5, 6, 7, 8, витрата холодної води - за допомогою витратоміра 9, а втрата тиску - за різницею показань манометрів 10, 11.

Випробування проводяться на 3-х режимах за витратою холодної води. Реєстрація показань вимірювальних приладів проводиться на сталих режимах. Режим вважається сталим, якщо протягом 3...5 хв не спостерігається зміни температур теплоносіїв.

Конструкція і технічна характеристика дослідного теплообмінника наведені на рисунку 2.2.



1 – вхід холодної води; 2 – вихід холодної води; 3 – передня кришка; 4, 5, 13 – болти кріплення кришки; 6, 14 – трубні

дошки; 7 – фланець входу гарячої води; 8 – циліндричний корпус; 9 – фланець виходу гарячої води; 10 – трубні решітки; 11 – гумове кільце; 12 – задня кришка

Рисунок 2.2 – Кожухотрубчастий теплообмінник

Усередині циліндричного корпусу 8 розташована знімна серцевина, що утворює поверхню нагрівання. Вона складається з пучка мідних трубок, закріплених у трубні дошки 6, 14, і п'яти перегородок 10. Одна трубна дошка кріпиться нерухомо до корпусу 8, а друга - рухливо відносно нього. Для герметизації трубного та міжтрубного просторів передбачені прокладка 3 і гумове кільце 11. До корпусу 8 за допомогою болтів кріпляться передня 3 і задня 12 кришки. Патрубки для введення й виведення холодної води розташовано на передній кришці 3, а гарячої - на циліндричному корпусі.

2.1.1 Технічна характеристика теплообмінного апарата

Тип теплообмінного апарата - кожухотрубчастий рекуперативний поверхневого типу зі знімною серцевиною, гладкотрубний.

Геометричні характеристики теплообмінної поверхні:

- зовнішній діаметр трубки - $d_n = 5$ мм;
- внутрішній діаметр трубки - $d_{вн} = 4$ мм;
- кількість трубок $n_m = 132$ шт.;
- матеріал трубок - мідь $\lambda = 340$ Вт/м·К;
- довжина серцевини $L = 360$ мм;
- довжина одного ходу $l = 60$ мм;
- зовнішній діаметр корпусу $D_n = 120$ мм;
- внутрішній діаметр корпусу $D_{вн} = 110$ мм;
- товщина перегородки $\delta_n = 2$ мм;
- кількість ходів по холодному теплоносію - $z_x = 2$;
- кількість ходів по гарячому теплоносію - $z_z = 6$;
- поверхня тепловіддачі (зовнішня) $F_n = 0,7523$ м²;
- поверхня тепловіддачі (внутрішня) $F_{вн} = 0,5968$ м².

2.2 Порядок виконання роботи

Випробовування проводяться на попередньо прогрітому двигуні.

1 За вказівкою викладача встановити навантаження P_e і швидкісний режим двигуна $n_{ов}$, а також витрату холодної води V_x .

2 Після стабілізації теплового режиму випробовуваного теплообмінника заміряти температури теплоносіїв на вході t'_x і t'_z та виході t''_x і t''_z , витрату холодної води V_x та витрату тиску по холодній воді $\Delta P_x = P_{ex} - P_{вих}$.

3 Виміряти витрату холодної води і повторити п. 2.

4 Зупинити двигун і закрити вентиль подачі холодної води.

Змінення занести в протокол.

2.3 Протокол вимірювань (таблиця 2.1)

Таблиця 2.1

№	V_x	t'_x	t''_x	t'_z	t''_z	Re_x	k_x
	м ³ /хв	°С	°С	°С	°С		кВт/м ² ·К
1							
2							
3							

2.4 Методика обробки результатів випробувань

Визначаємо витрату холодної води, кг/с:

$$G_x = V_x \cdot \rho, \quad (2.1)$$

де V_x - об'ємна витрата холодної води, м³/с;
 ρ - густина води, $\rho = 1000$ кг/м³.

Визначаємо теплопродуктивність теплообмінника, кВт:

$$Q_x = G_x \cdot c_{p_x} \cdot (t_x'' - t_x'), \quad (2.2)$$

де c_{p_x} - теплоємність води, $c_{p_x} = 4,19$ кДж/кг·К.

Визначаємо витрату гарячої води, кг/с:

$$G_z = \frac{Q_x \cdot \eta_{mo}}{c_{p_z} \cdot (t_z' - t_z'')}, \quad (2.3)$$

де c_{p_z} - теплоємність води, $c_{p_z} = 4,19$ кДж/кг·К;
 $\eta_{mo} = 0,95 \dots 0,98$ – коефіцієнт, який враховує витрати теплоти в навколишнє середовище.

Визначаємо середній температурний напір для перехресного руху теплоносіїв, °С:

$$\Delta T = \varepsilon_{\Delta} \cdot \frac{\Delta T_{\delta} - \Delta T_{\mathcal{M}}}{\ln \frac{\Delta T_{\delta}}{\Delta T_{\mathcal{M}}}}, \quad (2.4)$$

де ε_{Δ} - коефіцієнт переведення, що залежить від типу теплообмінника та взаємного руху теплоносіїв. Він визначається за допомогою експериментальних залежностей, наведених на рисунку 2.3;

$\Delta T_{\delta}, \Delta T_{\mathcal{M}}$ - відповідно більший і менший температурні напори,

$^{\circ}\text{C}$,

$$\Delta T_{\theta} = t_2' - t_x'', \quad (2.5)$$

$$\Delta T_m = t_2'' - t_x'. \quad (2.6)$$

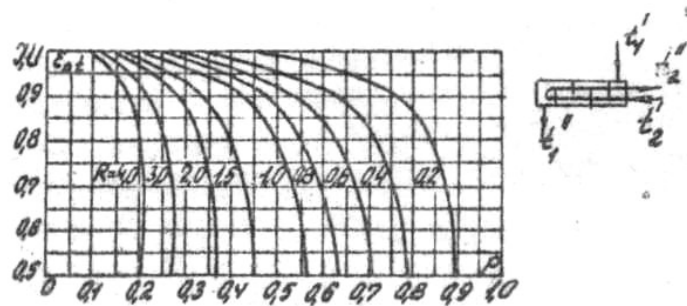


Рисунок 2.3 - До визначення поправкового коефіцієнта $\epsilon_{\Delta t}$ для обчислення температурного напору

Визначити коефіцієнт теплопередачі:

а) віднесений до зовнішньої поверхні, $\text{кВт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$,

$$k_z = \frac{Q_x}{F_n \cdot \Delta T}; \quad (2.7)$$

б) віднесений до внутрішньої поверхні, $\text{кВт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$,

$$k_x = \frac{Q_x}{F_{\text{вн}} \cdot \Delta T}. \quad (2.8)$$

Визначити коефіцієнт ефективності теплообмінного апарата

$$E = \frac{t_2' - t_2''}{t_2' - t_x'}. \quad (2.9)$$

Визначаємо середню температуру холодної води, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{xcp} = \frac{t'_x + t''_x}{2}. \quad (2.10)$$

Визначаємо середню швидкість холодної води в теплообміннику, м/с:

$$W_{cp_x} = \frac{G_x}{\rho \cdot f_x}, \quad (2.11)$$

де f_x - площа прохідного перетину трубного простору в одному ході,

$$f_x = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot n_m}{4 \cdot 2}. \quad (2.12)$$

Визначаємо критерій Рейнольдса з боку холодного теплоносія:

$$Re_x = \frac{W_{cp_x} \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}, \quad (2.13)$$

де ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості води при t_{xcp} , м²/с.

У таблиці 2.2 наведені значення кінематичної в'язкості води залежно від температури.

Таблиця 2.2 - Значення кінематичної в'язкості води залежно від температури

t, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ν , 10^{-6} м ² /с	1,787	1,307	1,004	0,801	0,658	0,658	0,475	0,413	0,365	0,326	0,294

Будуємо графіки $k_x = f_1(Re_x)$, $\Delta p = f_2(Re_x)$. Графіки будуються за трьома точками, що відповідають трьом режимам випробувань.

2.5 Звіт про роботу

Звіт повинен містити мету і короткий зміст роботи, схему експериментальної установки, необхідні розрахунки й графіки.

2.6 Контрольні питання

1 Який критерій подоби є визначальним при визначенні коефіцієнта теплообміну?

2 Які режими руху теплоносія в трубках або каналах можливі при змушеній конвекції?

3

Із яких окремих елементів складається кожухотрубчастий теплообмінник?

4 У яких випадках розрахунки температурного напору за формулою для середньоарифметичної різниці температур теплоносіїв дають правильні результати?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. Випробовування ребристого трубчасто-пластинчатого теплообмінного апарата

3.1 Мета роботи

Метою роботи є вивчення конструкції та придбання

практичних навичок експериментального дослідження високоефективних трубчасто-пластинчастих теплообмінників.

3.2 Опис експериментального стенда та методики випробувань теплообмінного апарата

Схема експериментального стенда наведено на рисунку 3.1.

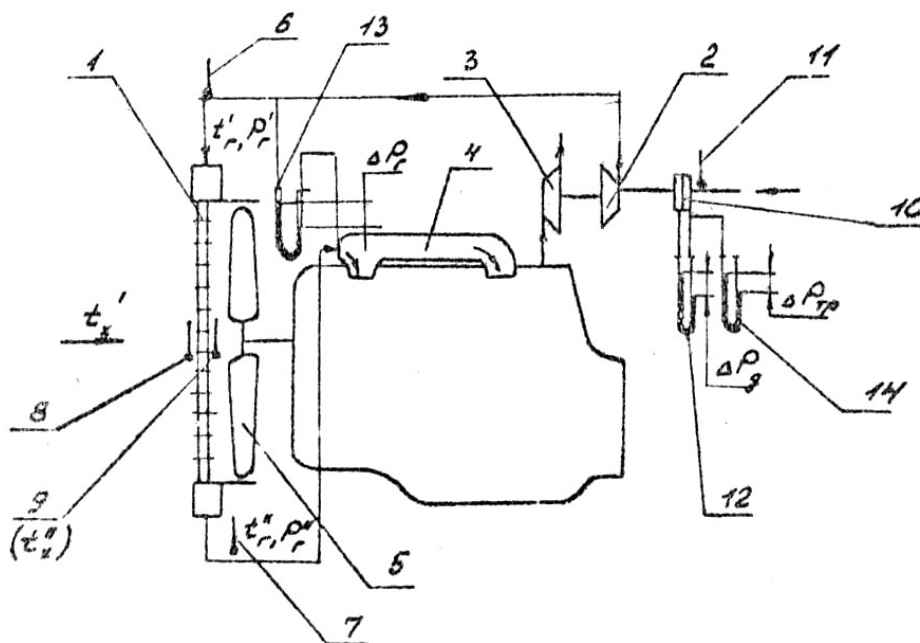


Рисунок 3.1 - Схема лабораторного стенда

Трубчасто-пластинчастий теплообмінник 1 установлений на двигуні СМД-60 (І варіант у таблиці 3.1) або СМД-18 (ІІ варіант) і призначений для охолодження наддувного повітря. Відцентровий компресор 2, що приводиться в дію газовою турбіною 3, забирає повітря з навколишнього середовища, стискає його й з температурою t'_2 і тиском P'_2 нагнітає в теплообмінник 5, де він охолоджується до температури t''_2 і з тиском P''_2 надходить далі у впускний ресивер двигуна 4. В якості теплоносія, що охолоджує, використовується атмосферне повітря, що продувається через теплообмінник 1 вентилятором 5. При цьому він нагрівається від температури $t'_x = t_0$ до t''_x . Вимір температур обох теплоносіїв t'_2 , t''_2 , t'_x і t''_x проводиться за допомогою ртутних термометрів 6, 7, 8 і 9 відповідно. Витрата

гарячого (наддувного) повітря вимірюється за допомогою нормальної діафрагми 10, установлені на всмоктувальному патрубку двигуна.

Для обчислення витрати повітря вимірюється температура повітря перед діафрагмою за допомогою ртутного термометра 11 і перепаду тиску на діафрагмі за допомогою U-подібного водяного манометра 12. Гідравлічні втрати в теплообміннику по гарячому теплоносію визначаються за допомогою U-подібного водяного манометра 13. Для визначення втрат в усмоктувальному трубопроводі $\Delta p_{тр}$ перед діафрагмою використовується U-подібний водяний манометр 14.

Технічна характеристика теплообмінного апарата відповідно до рисунка 3.2 наведена в таблиці 3.1 (для двигуна СМД-60 - 1-й варіант, для СМД-18 – 2-й варіант).

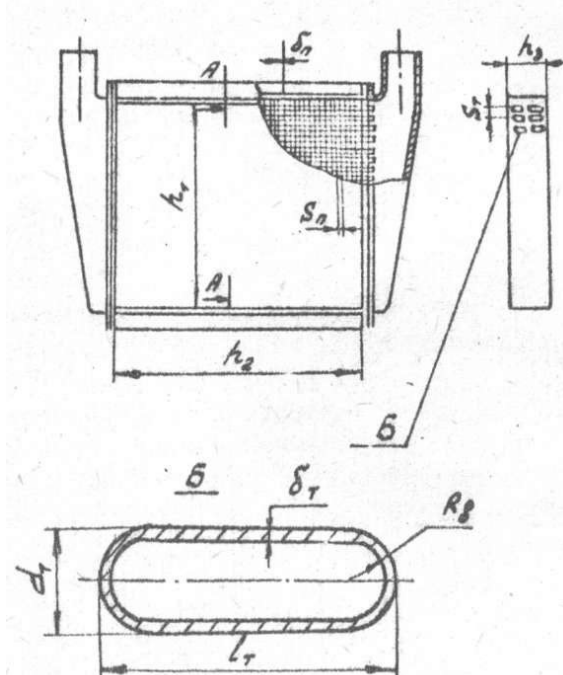


Рисунок 3.2 - Ребристий трубчасто-пластинчастий теплообмінник

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика теплообмінного апарата

Найменування	Позначення		Розмірність	I варіант	II варіант
Розміри серцевини:					
- Ширина	h_1	мм	635	640	
- Висота	h_2	мм	720	635	
- глибина	h_3	мм	45	45	
Крок трубок	S_m	мм	10	10	
Крок пластин	S_n	мм	12	18	
Товщина пластин	δ	мм	0,1	0,8	
Товщина стінки трубки	δ_m	мм	0,2	0,2	
Повна кількість трубок	n_m	шт.	124	116	
Площа поверхні тепловіддачі на зовнішній ребреній стороні	F_n	м ²	6,18	4,5	
Площа поверхні тепловіддачі на внутрішній стороні трубок	$F_в$	м ²	3,4	2,81	
Площа поверхні тепловіддачі пластин	F_n	м ²	2,66	1,59	
Кількість пластин	n_n	шт.	60	35	
Гідравлічний радіус із боку:					
- холодного теплоносія	r_n	мм			
- гарячого теплоносія	$r_в$	мм			
Тип трубок	плоскі				
Розташування трубок	коридорне				
Матеріал трубок і пластин	латунь				
Кількість ходів по гарячому та холодному теплоносію	z	шт.	1	1	
Площа прохідного перетину в міжтрубному просторі	A_x	м ²	0,315	0,272	
Сумарна площа прохідного перетину трубок	A_2	м ²	0,0055	0,00515	

Методика експериментального дослідження передбачає

проведення теплотехнічних і гідравлічних випробувань теплообмінника. У результаті чого визначаються:

- ступені нагрівання й охолодження теплоносіїв;
- кількість переданого тепла;
- коефіцієнт теплопередачі;
- коефіцієнт ефективності теплообмінника;
- коефіцієнт опору по гарячому теплоносію.

3.3 Порядок виконання роботи

Випробовування теплообмінника проводяться на працюючому двигуні. Режим роботи двигуна встановлюється за вказівкою викладача.

Параметри, що характеризують роботу теплообмінного апарата, заносяться до протоколу спостережень для кожного режиму, що встановився, обумовленого сталістю температур теплоносіїв, а також води й мастила у двигуні впродовж 5...10 хв (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Протокол спостережень

№	t'_2	T'_2	t''_2	T''_2	t'_x	T'_x	t''_x	T''_x	$P_{\bar{o}}$	$T_{\bar{o}}$	P'_2	ΔP_2	G_2	Re	k_x	ξ
	$^{\circ}\text{C}$	К	$^{\circ}\text{C}$	К	$^{\circ}\text{C}$	К	$^{\circ}\text{C}$	К	$\cdot 10^{-5}$ Па	К	$\cdot 10^{-5}$ Па	$\cdot 10^{-5}$ Па	кг/с		кВт/м ² ·К	
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																

3.4 Методика обробки дослідних даних

Обробка дослідних даних для кожного режиму проводиться за такою методикою.

Кількість тепла, яка віддана гарячим теплоносієм, кВт,

$$Q_2 = G_2 \cdot c_{p_2} \cdot (t'_2 - t''_2), \quad (3.1)$$

де c_{p_2} - теплоємність повітря, $c_{p_2} = 1$ кДж/кг·К.

Витрата холодного теплоносія, кг/с,

$$G_x = \frac{Q_x}{c_{p_x} \cdot (t'_x - t''_x)}, \quad (3.2)$$

де $Q_x = Q_2$ - рівняння теплового балансу теплообмінника без обліку втрат, кВт;

c_{p_x} - теплоємність повітря, $c_{p_x} = 1$ кДж/кг·К.

Середньологарифмічний температурний напір, °С,

$$\Delta t_{\text{лог}} = \frac{(t'_2 - t''_x) - (t''_2 - t'_x)}{\ln \frac{t'_2 - t''_x}{t''_2 - t'_x}} \cdot \varepsilon_e, \quad (3.3)$$

де ε_e - поправковий коефіцієнт, який враховує перехресний рух теплоносіїв, залежність якого $\varepsilon_e = f(P, R)$ наведена на рисунку 3.3.

$$P = \frac{t''_x - t'_x}{t'_2 - t'_x}, \quad (3.4)$$

$$R = \frac{t'_2 - t''_2}{t''_x - t'_x}. \quad (3.5)$$

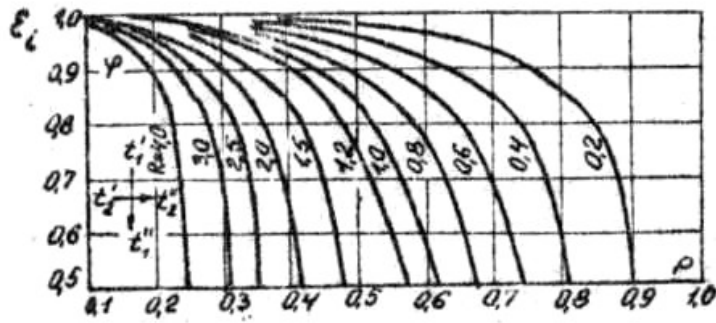


Рисунок 3.3 - До визначення поправкового коефіцієнта для обчислення температурного напору

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої оребреної поверхні, кВт/(м²·К),

$$k_{cp} = \frac{Q_2}{F_n \cdot \Delta t_{лог}} \quad (3.6)$$

Коефіцієнт ефективності теплообмінника

$$E = \frac{t_2' - t_2''}{t_2' - t_x'} \quad (3.7)$$

Середня температура гарячого теплоносія, °С,

$$t_{2cp} = \frac{t_x' + t_x''}{2} + \Delta t_{лог} \quad (3.8)$$

Середній тиск гарячого теплоносія в теплообміннику, Па,

$$P_{2cp} = P_2' - \frac{\Delta P_2}{2} \quad (3.9)$$

Середня густина гарячого повітря в теплообміннику, кг/м³,

$$\rho_{2cp} = \frac{P_{2cp}}{R \cdot T_{2cp}} \quad (3.10)$$

Середня швидкість гарячого теплоносія в теплообміннику, м/с,

$$w_{2cp} = \frac{G_2}{A_2 \cdot \rho_{2cp}} \quad (3.11)$$

Критерій Рейнольдса по гарячому теплоносію

$$Re_2 = \frac{w_{2cp} \cdot 4 \cdot r_6}{\mu_2 \cdot \nu_{2cp}}, \quad (3.12)$$

де μ_2 - коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, Н·с/м²;
 ν_{2cp} - питомий об'єм, м³/кг.

$$\mu_2 = 0,544 \cdot 10^{-6} \cdot T_{2cp}^{0,62}, \quad (3.13)$$

$$\nu_{2cp} = \frac{R \cdot T_{2cp}}{P_{2cp}}. \quad (3.14)$$

Коефіцієнт опору по гарячому теплоносію

$$\xi = \frac{2 \cdot \Delta P_2 \cdot 4 \cdot r_6 \cdot 10^5}{w_{2cp}^2 \cdot \rho_{2cp} \cdot h_2 \cdot g}, \quad (3.15)$$

де $g=9,81$ м/с² - прискорення вільного падіння.

За результатами обробки результатів випробування необхідно побудувати графіки $k = f_1(Re_2)$, $\xi = f_2(Re_2)$.

3.5 Звіт про роботу

Звіт про роботу повинен містити мету роботи, короткий опис роботи, схему лабораторної установки, протокол спостережень, результати обробки дослідних даних і графіки (а також результати розрахунків теоретичного визначення коефіцієнта теплопередачі на одному з режимів).

3.6 Контрольні питання

1 Які переваги мають компактні ребристі теплообмінники порівняно зі звичайними?

2 Як визначається розрахунковий коефіцієнт теплопередачі з боку ребристої поверхні й від яких факторів він залежить?

3 Який коефіцієнт теплопередачі має більше значення в ребристому теплообміннику: віднесений до гладкої або ребристої поверхні?

4 Для якого теплоносія коефіцієнт теплообміну має звичайно найбільше значення: повітря, води або мастила.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4. Визначення теплового балансу дистиляційної установки

4.1 Мета роботи:

- а) закріплення матеріалу розділу;
- б) набуття практичних навичок визначення теплового балансу дистиляційної установки;
- в) вивчення конструкції, принципу дії та характеристик дистиляційних установок.

4.2 Лабораторна установка

Лабораторна робота виконується на базі серійно випускного електричного аквадистилятора ДЄ, що призначений для виробництва дистиляційної води.

Принцип дії базується на конденсації ретельно відсепарованої водяної пари.

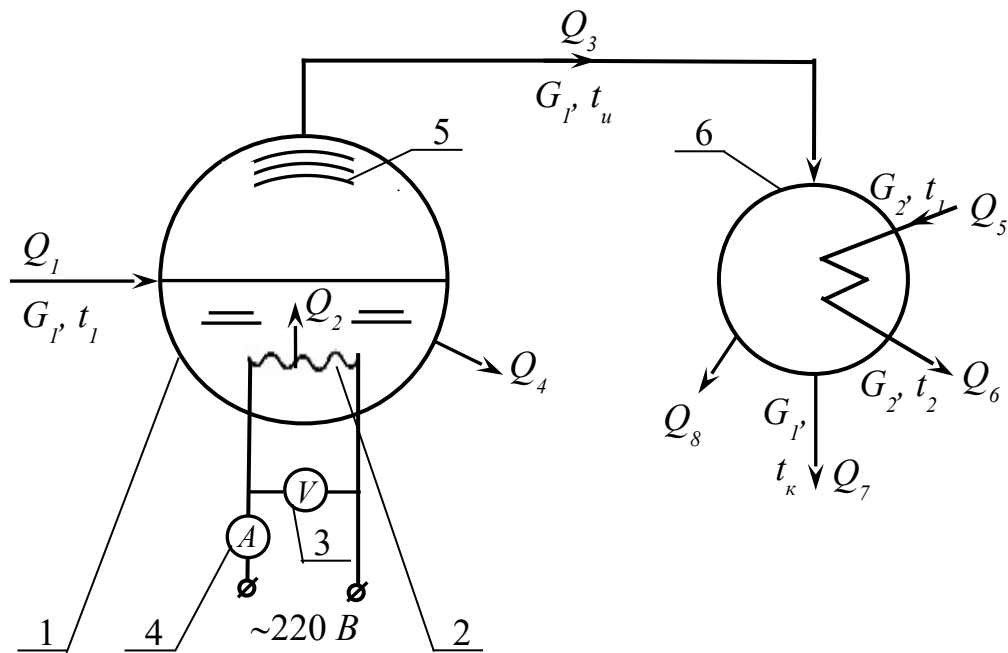
Водопровідна вода надходить до випарника, де підігрівається до кипіння, і випаровується. Водяна пара, що утворилася, через ряд сепараторів надходить до конденсатора, через який проходить охолоджуюча вода. Пара конденсується, перетворюючись в дистильовану воду.

Рівень води у випарнику установки підтримується автоматично регулятором рівня.

Загальний вигляд дистилятора наведено на рисунку 4.1, а принципова схема - на рисунку 4.2.



Рисунок 4.1 - Загальний вигляд дистиллятора ДС-4-02 ЕМО



1 – випарник; 2 – електропідігрівачі; 3 – вольтметр;

4 – амперметр; 5 – сепаратор; 6 – конденсатор;

Q_1 - теплота, що надходить до випарника з водопровідною водою;

Q_2 - теплота, що виділяється електропідігрівачами;

Q_3 - теплота водяної пари, що виходить із випарника;

Q_4 - втрати теплоти від випарника у зовнішнє середовище;

Q_5 - теплота, що заноситься до конденсатора охолоджуючою водою;

Q_6 - теплота, що відходить від конденсатора з охолоджуючою водою;

Q_7 - теплота дистилляту, що виходить із конденсатора;

Q_8 - втрати теплоти від конденсатора у зовнішнє середовище;

M_1, t_1 - витрата і температура охолоджуючої води, що поступає у випарник;

t_k - температура дистилляту, що виходить із конденсатора;

M_2, t_2 - витрата і температура охолоджуючої води, що виходить із конденсатора

Рисунок 4.2 - Принципова схема лабораторної установки

4.3 Методика і порядок виконання лабораторної роботи

Методика експериментального визначення теплового балансу дистиляційної установки заснована на безпосередньому вимірюванні витрат і температур теплоносіїв у вузлах дистиляційної установки.

Порядок виконання лабораторної роботи:

1 Включити подачу водопровідної води у випарник і конденсатор установки.

2 Включити подачу електроенергії на підігрівачі випарника установки.

3 Після стабілізації режиму роботи дистиляційної установки (через 30÷45 хв) провести заміри таких величин:

а) температура водопровідної води на вході у випарник і конденсатор установки $t_1, ^\circ\text{C}$;

б) витрата охолоджуючої води через конденсатор $M_2, \text{кг/с}$;

в) температури охолоджуючої води на виході з конденсатора установки $t_2, ^\circ\text{C}$;

г) витрата дистильованої води на виході з конденсатора установки $M_1, \text{кг/с}$;

д) температура дистильованої води на виході з конденсатора установки $t_k, ^\circ\text{C}$ (передбачається, що кількість водопровідної води, що надходить до випарника, дорівнює кількості отриманої дистильованої води);

е) напругення $U, \text{В}$ та струм $I, \text{А}$ на електропідігрівачі випарника дистиляційної установки.

Температури теплоносіїв t_1, t_2 і t_k замірюються за допомогою термометра розширення, а витрати M_1 і M_2 - важільним методом, який реалізується так. Весь потік дистильованої води G_1 , що виходить із конденсатора в дистиляційну установку, спрямовується в скляну ємність. Кількість відібраного дистиляту M_1 визначається шляхом зважування на лабораторних важелях, а час відбору даної

кількості дистилляту τ_1 контролюється за допомогою секундоміра.

Витрата охолоджуючої води G_2 через конденсатор 6 визначається так само.

Напруження U та струм I на електропідігрівачі у колі електропідігрівача вимірюються за допомогою вольтметра 3 і амперметра 4.

Результати вимірювань заносяться до протоколу досліджень (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Протокол випробувань

Значення	Величина, що вимірюється								
	$t_1,$ $^{\circ}C$	$t_2,$ $^{\circ}C$	$t_k,$ $^{\circ}C$	$U,$ B	$I,$ A	$M_1,$ $кг$	$\tau_1,$ $с$	$M_2,$ $кг$	$\tau_2,$ $с$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

4.4 Методика обробки результатів випробувань

Рівняння теплового балансу випарника дистильованої установки можна подати як

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4, \quad (4.1)$$

де $Q_1 = G_1 \cdot H_1, кВт$;

де H_1 - ентальпія водопровідної води, що надходить у випарник,
 $H_1 = 4,19 \cdot t_1, кДж / кг$.

G_1 - подача водопровідної води у випарник дорівнює витраті дистильованої води на виході із конденсатора, $кг / с$.

$$Q_2 = \frac{U \cdot I \cdot \cos \alpha}{1000}, кВт; \quad \cos \alpha = 0,98. \quad (4.2)$$

$$Q_3 = G_1 \cdot H_3, кВт, \quad (4.3)$$

де H_3 - ентальпія водяної пари, що виходить із випарника дистиляційної установки $H_1 = 4,19 \cdot t_3$ кДж / кг ,
де $t_3 = 100$ °С.

Втрати теплоти у зовнішнє середовище Q_4 , кВт визначаються із рівняння (4.1)

$$Q_4 = Q_1 + Q_2 - Q_3. \quad (4.4)$$

Рівняння теплового балансу конденсатора дистиляційної установки можна представити у вигляді

$$Q_3 + Q_5 = Q_6 + Q_7 + Q_8, \quad (4.5)$$

де $Q_5 = G_2 \cdot H_1$, кВт;
 $Q_6 = G_2 \cdot H_2$, кВт;

де $G_2 = \frac{M_2}{\tau_2}$, кг / с;

H_2 - ентальпія охолоджуючої (водопровідної) води на виході із конденсатора $H_2 = 4,19 \cdot t_2$, кДж / кг ;

$Q_7 = G_1 \cdot H_k$, кВт;

де H_k - ентальпія дистильованої води, що виходить із дистиляційної установки, $H_k = 4,19 \cdot t_k$, кДж / кг .

Втрати теплоти у зовнішнє середовище Q_8 , кВт, визначаються із рівняння (4.5)

$$Q_8 = Q_3 + Q_5 - Q_6 - Q_7. \quad (4.6)$$

4.5 Контрольні питання

1 Яке призначення дистиляційних і ректифікаційних установок?

- 2 Що називається дистиляцією і ректифікацією?
- 3 Вказати відмінності між процесами дистиляції та ректифікації.
- 4 На якій властивості складних сумішей базується розподіл на складові?
- 5 Провести класифікацію складних сумішей з точки зору розподілу на складові.
- 6 Які суміші підпорядковуються закону Дальтона?
- 7 Сформулювати закон Дальтона для сумішей.
- 8 Сформулювати закон Рауля для сумішей.
- 9 Що називають фазовою діаграмою для сумішей?
- 10 Що називають діаграмою рівноваги для сумішей?
- 11 Які суміші називають ізотропними?
- 12 Які суміші називають частково розчиненими компонентами?
- 13 Пояснити фізичне значення рівняння теплового балансу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5. Дослідження процесів у конвективній сушарці з однократним використанням сушильного агента

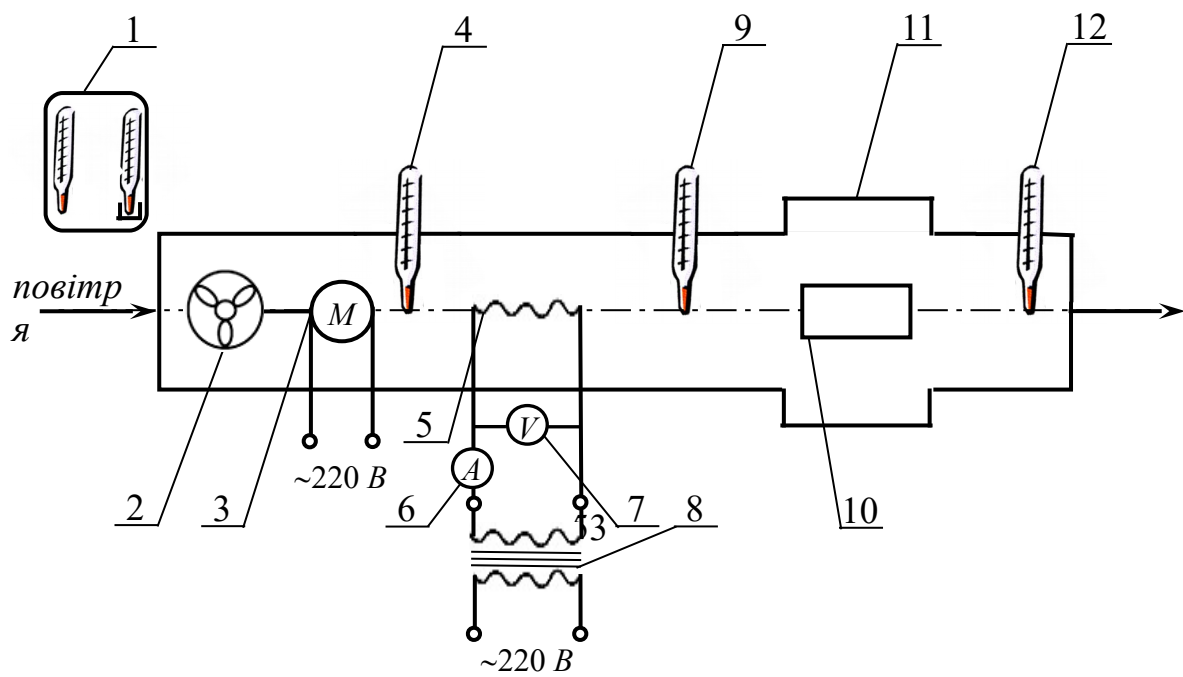
5.1 Мета роботи:

- а) закріплення матеріалу теми;
- б) набуття практичних навичок дослідження циклу конвективної сушильної установки.

5.2 Лабораторна установка

Лабораторна установка являє собою модель конвективної сушарки з однократним використанням сушильного агента, принципова схема якого наведена на рисунку 5.1.

Повітря із приміщення забирається вентилятором 2, нагрівається електропідігрівачем 5 і поступає в сушильну камеру 11, де розміщується сушильний матеріал 10 (деревина). Для визначення початкової відносної вологості повітря використовується психрометр 1. Температура сушильного агента (повітря) до та після електропідігрівача 5, а також на виході із сушарки вимірюється термометрами 4, 9 та 12. Для регулювання потужності електропідігрівача 5, який визначає температуру нагріву сушильного агента після підігрівача, використовується лабораторний автотрансформатор 8. Напруження U і струм I в колі електропідігрівача вимірюється вольтметром 7 і амперметром 6.



1 – психрометр; 2 – вентилятор; 3 – електродвигун вентилятора; 4, 9, 12 – термометри; 5 – електропідігрівач сушильного агента; 6 – амперметр; 7 – вольтметр; 8 – автотрансформатор; 10 – сушильний матеріал; 11 – сушильна камера

Рисунок 5.1 - Принципова схема лабораторної установки

5.3 Методика і порядок виконання лабораторної роботи

Методика виконання лабораторної роботи заснована на експериментальному визначенні температур сушильного агента в різних зонах сушильної установки та кількості випареної із сушильного зразка води. За результатами експериментальних досліджень здійснюється побудова процесу сушіння на *H-d* діаграмі вологого повітря.

Порядок виконання лабораторної роботи:

1 Ввімкнути електроживлення двигуна 3 вентилятора 2 і підігрівача 5.

2 За вказівкою викладача за допомогою трансформатора 8

встановити відповідне напруження U підігрівача 5.

3 Після стабілізації теплового режиму в сушарці, про що буде свідчити сталість температур сушильного агента t_1 і t_2 за показниками термометрів 4 і 9, у сушильну камеру 11 встановити зразок сушильного матеріалу 10, попередньо зваживши його на лабораторних важелях і відмітивши за допомогою годинника час його установалення.

4 Внести до протоколу досліджень (таблиця 5.1) значення маси мокрого зразка M_1 та час його установалення в сушильну камеру 11 τ_1 .

5 Через деякий час ($1 \div 1,5$ год) за показниками термометрів 4, 9 і 12 заміряти значення температур сушильного агента t_1 , t_2 і t_3 та вилучити сушильний зразок 10 із камери 11, відмітивши за допомогою годинника час його виймання τ_2 .

6 На лабораторних важелях визначити масу висушеного зразка M_2 .

7 Результати вимірювань внести в протокол випробувань.

8 Вимкнути електроживлення сушильної установки.

Таблиця 5.1 - Протокол випробувань

Величина, що вимірюється	P_0	V	I	t_c	t_m	t_0	t_1	t_2	M_1	τ_1	M_2	τ_2
Од. вимірювання	мм рт. ст.	вольт t	ампер	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	кг	год, хв, с	кг	год, хв, с
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

5.4 Методика обробки результатів випробувань

Методика включає розрахунок окремих величин, якими характеризується процес сушіння, та побудова процесу сушіння на $H-d$ діаграмі вологого повітря.

Порядок обробки результатів випробувань і побудова процесу сушіння на $H-d$ діаграмі вологого повітря:

1 За показниками сухого t_c та мокрого t_m термометрів психрометра 1 визначається психометрична різниця температур, $^{\circ}C$

$$\Delta t_{nc} = t_c - t_m.$$

2 За величиною Δt_{nc} за допомогою психометричної таблиці визначається відносна вологість повітря φ_0 , що поступає в сушарку.

3 На $H-d$ діаграмі вологого повітря на перетині лінії φ_0 та ізотерми t_0 (t_0 визначається за показаннями термометра 4) наноситься точка A , яка відповідає параметрам сушильного агента (повітря) на вході в сушильню (див. рисунок 5.2).

4 Процес нагріву сушильного агента (повітря) підігрівачем 5 протікає на лінії $d_0 = const$. Тому із точки A проводиться вертикаль до перетину з ізотермою t_1 , де отримують точку B , яка відповідає параметрам сушильного агента на вході в сушильну камеру 11.

5 В першому наближенні припускається, що процес сушіння матеріалу є ізоентальпним $H_1 = H_2 = const$. Тому із точки B по ізоентальпії $H_1 = const$ проводиться пряма до перетину з ізотермою $t_2 = const$, де отримують точку C , яка умовно відповідає параметрам вологого повітря на виході із сушильної камери та його вологовмістості d_2 .

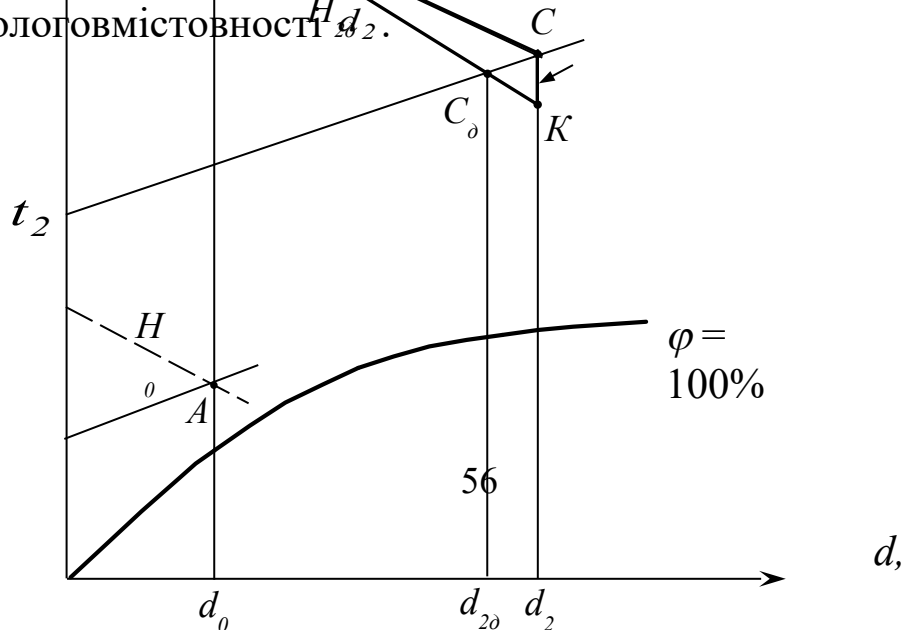


Рисунок 5.2 - Побудова процесу сушіння на H-d діаграмі вологого повітря

6 Визначається в першому наближенні питома витрата повітря на 1 кг випареної вологи, $\frac{\text{кг сух повітря}}{\text{кг вологи}}$;

$$l = \frac{1000}{d_2 - d_0}.$$

7 Визначається теоретична питома витрата теплоти на випаровування 1 кг вологи, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг вологи}}$

$$q = l \cdot (H_1 - H_0).$$

8 Визначається продуктивність сушарки за вологою (або швидкість видалення вологи), $\frac{\text{кг вологи}}{\text{с}}$;

$$W = \frac{M_1 - M_2}{\tau_2 - \tau_1}.$$

9 Визначення теплової потужності підігрівача 5, $\frac{\text{кДж}}{\text{с}}$;

$$Q = \frac{V \cdot I \cdot \cos \varphi}{1000},$$

де $\cos \varphi = 0,98$;

10 Визначення дійсної питомої витрати теплоти на випаровування 1 кг вологи, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг вологи}}$;

$$q_d = \frac{Q}{W}.$$

11 Визначення питомої страти теплоти в реальній сушарці, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг вологи}}$;

$$\Delta = q_d - q.$$

12 Визначення на $H-d$ діаграмі вологого повітря точки дійсного закінчення процесу сушіння (точка C_d). Для цього через точку C проводиться вертикаль, на якій донизу відкладається величина $\frac{\Delta}{l}$, де отримують точку K . Через точки B і K проводиться пряма лінія, на перетині якої з ізотермою $t_2 = \text{const}$ отримують точку C_d . Цій точці відповідає дійсна вологовмістивність сушильного агента на виході із сушильної камери d_{2d} ;

13 Визначається дійсна питома витрата повітря на 1 кг випареної вологи, $\frac{\text{кг сух повітря}}{\text{кг вологи}}$;

$$l_d = \frac{1000}{d_{2d} - d_0}.$$

14 Визначається ентальпія вологого повітря в точці C_d , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг сух повітря}}$;

$$H_{2d} = H_1 - \frac{\Delta}{l_d}.$$

5.5 Контрольні питання

1 Чим відрізняється дійсна конвективна сушарка від теоретичної?

2 Чому процес видалення вологи із матеріалу (або зволоження сушильного агента) у теоретичній сушарці протікає за ентальпією $H_1 = const$?

3 Вкажіть, який градієнт визначає процес перенесення вологи із центра матеріалу до його поверхні при конвективному сушінні і який градієнт гальмує його?

4 Що називається швидкістю сушіння $\frac{dw}{d\tau}$?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6. Дослідження процесу сушки та розрахунок параметрів сушильної установки

6.1 Мета роботи: вивчення будови та набуття практичних навичок у проведенні процесу сушіння та розрахунку параметрів сушильної установки.

6.2 Опис лабораторного стенда

Принципова схема лабораторного стенда наведена на рисунку 5.1.

Вологий матеріал 10 розташований у підвішеному стані в сушильній камері 11. Повітря подається в сушильну камеру вентилятором 2 через теплообмінник 5, який являє собою зчленування із чотирьох стандартних радіаторних трубчато-пластинчастих секцій. Гаряча вода із бака живильним насосом подається у верхній колектор охолоджувача з температурою t'_2 .

Тепло від гарячої води передається повітрю, і вода з температурою t'_2 повертається назад до бака, в якому гріється паром, що надходить із котла і барботується через воду, що нагрівається. Підігріте повітря з температурою t_{n1} надходить у сушильну камеру, де до нього поступає випарена із матеріалу волога. При цьому температура повітря знижується до значення t_{n2} . Витрату повітря по фронту теплообмінника встановлюють відповідно до першого положення засувки на вході в вентилятор, що складає $G_n = 3,2 \text{ кг/с}$ або $G_n = 11560 \text{ кг/год}$.

6.3 Порядок виконання роботи

- 1 Підготувати котлоагрегат Е-І/9Г до запуску.
- 2 Запустити котел.
- 3 Підігріти воду в живильному баку.
- 4 Включити вентилятор та встановити перше положення засувки.
- 5 Змінюючи подачу пари, встановити сталість температури води на вході у верхній колектор.
- 6 Провести вимірювання, при яких встановити:
 - температуру мокрого термометра на вході повітря у вентилятор (t_{n_o} і t_{n_m});
 - температуру сухого термометра на вході повітря у вентилятор;
 - температуру повітря t_{n1} після теплообмінника на вході в сушильну камеру;
 - температуру повітря t_{n2} на виході із сушильної камери за сухим термометром;
 - температуру повітря $t_{n_{2,m}}$ на виході із сушильної камери за мокрим термометром;
 - витрату води через теплообмінник $V_2, \text{ м}^3/\text{год}$;
 - температуру води t'_2 на вході в теплообмінник;
 - температуру води t''_2 на виході із теплообмінника;
 - масу сушильного матеріалу до та після сушіння G_m і $G_k, \text{ кг}$;
 - час сушіння, τ .

6.4 Методика обробки дослідних даних

1 Кількість вологи, що видалена із матеріалу за період сушіння, кг,

$$G_k - G_m = W_\tau.$$

2 Кількість вологи, що вийшла із матеріалу за одиницю часу, $\frac{\text{кг}}{\text{год.}}$

$$W = \frac{W_\tau}{\tau}.$$

3 Кількість теплоти, підведеної до повітря, кДж/год,

$$Q_v = G_v \cdot C_{pv} (t_{v1} - t_{v0}).$$

4 Питома кількість теплоти, необхідної для випаровування одиниці вологи, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг. вологи}}$,

$$q = \frac{Q_v}{W}.$$

5 Питома витрата повітря, необхідна для випаровування одиниці вологи, $\frac{\text{кг. повітря.}}{\text{кг. вологи}}$,

$$l = \frac{G_v}{W}.$$

6 Кінцева вологозмістовність повітря

$$d_{e2} = d_{e1} + \frac{1000}{l}.$$

Перевірка точності визначення витрати повітря, кг/год:

$$G_6 = \frac{G_2 \cdot 4,186 \cdot (t_2' - t_2'') \cdot 0,96}{C_{p6} \cdot (t_{61} - t_{6o})},$$

де $G_2 = V_2 \cdot 980$.

Після визначення параметрів зобразити на $H-d$ діаграмі процес сушіння, порядок побудови якого зображено на рисунку 6.1.

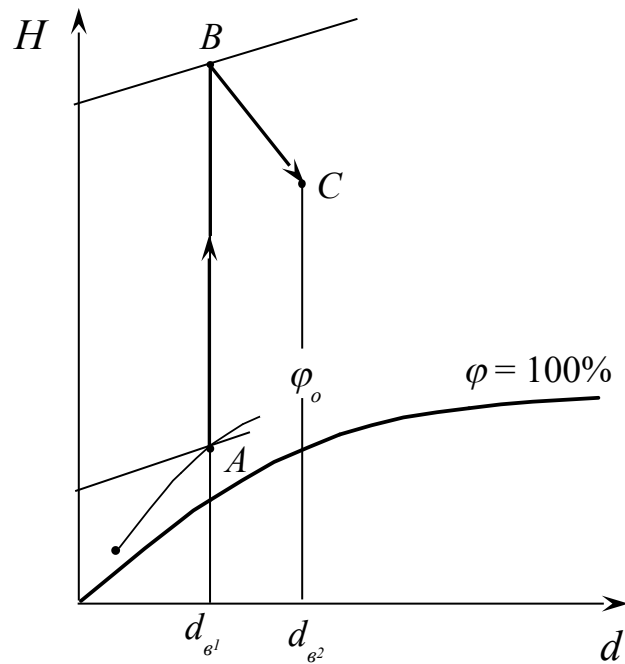


Рисунок 6.1 - Порядок побудови параметрів процесу сушіння на $H-d$ діаграмі

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7. Випробовування піскосушарки барабанного типу (робота виконується у локомотивному депо ім. С.М. Кірова)

7.1 Мета роботи:

- а) закріплення матеріалу теми;
- б) набуття практичних навичок у роботі з сушаркою на димових газах та у визначенні основних процесів сушіння.

7.2 Лабораторна установка

Загальний вигляд барабанної піскосушарки на димових газах СОБУ-1 з діаметром барабану 800 мм, прямоточного типу зі штучною тягою наведено на рисунку 7.1. Вологий пісок поступає через патрубок 7 у нахилений під кутом 3-5⁰ стальний барабан 3, що обертається і всередині якого проходять димові гази, які поступають з топки 9. Переміщуючись по гвинтовій лінії в бік розвантажувальної камери з газовідвідною частиною 2 та бункерною частиною 17, пересипаючись у повздовжніх секціях барабана та змішуючись при цьому з гарячими газами, пісок поступово та рівномірно висушується, а продукти згоряння і пари вологи видаляються через димову трубу 1 в атмосферу за допомогою димососа.

Гарячі гази, що утворюються в результаті спалювання палива

в камері згоряння 10 і мають температуру 1100 – 1200 °С, надходять у змішувальну камеру 11 для змішування із зовнішнім повітрям, яке надходить сюди через канали 8. Це робиться для зниження температури сушильного агента з ~ 1100 °С до ~ 600 °С.

Барабан 3 приводиться до обертання з частотою 2 – 6 об/хв приводним механізмом 14 з опорами 13 і 15. Він має дві частини: приймальна частина 5, що слугує для приймання вологого піску та спрямовування його спеціальними лопатями 12 у другу частину барабану – сушильну 4, де і відбувається сушіння піску. Лопаті 12 кріпляться до кожуха барабана кутниками 6. Всередині камери 4 барабана розміщується насадка, яка забезпечує гарне пересипання піску та рівномірне розподілення його по всьому об'єму барабана для достатнього контакту з сушильним агентом.

Бункерна частина розвантажувальної камери 17 має карман 19 для приймання відсівів піску і карман 18 для сухого відсіяного піску. Пісок виходить у бункерну частину через сито 16.

У якості палива в даній сушарці застосовується мазут.

7.3 Параметри контролю піскосушарки СОБУ-1

1 Вимірюється витрата палива V , л/год, - здійснюється за допомогою мірної колби і секундоміра.

2 Визначається температура палива, замірюється введенням у струмінь палива, що витікає із крана паливного бака, термометра.

3 Вимірюється температура t_o і тиск P_o зовнішнього повітря.

4 Проводиться аналіз суміші продуктів згоряння палива і повітря на вході в барабан за допомогою газоаналізатора ГПХ-3М.

5 Визначається температура сушильного агента на вході в барабан t_m (хромель-алюмінієва термопара).

6 Проводиться аналіз сушильного агента на виході із барабана за допомогою газоаналізатора ГПХ-3М.

7 Вимірюється температура сушильного агента на виході з барабана t_c (хромель-алюмінієва термопара).

8 Визначається продуктивність установки за піском шляхом

зважування тарованої ємності піску.

9 Визначається вологість піску:

а) на вході в установку;

б) на виході з установки

шляхом сушіння відібраних зважених проб у сушильній шафі при $t = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$ і наступним зважуванням після охолодження їх в ексикаторі.

10 Вимірюється температура поверхонь огорожень сушарки t_n для визначення теплових втрат.

11 Визначається початкова температура до потрапляння в установку та на виході з сушарки.

12 Визначається психометром відносна вологість зовнішнього повітря.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. - 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1972. - 320 с.

2 Промышленные теплообменные установки и процессы /Под ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 327 с.

3 Бажан П.И. Расчет и конструирование охладителей дизелей. – М.: Машиностроение, 1981. - 168 с.

4 Бажан П.И. Справочник по теплообменным аппаратам / П.И. Бажан, Г.Е. Канивец, В.М. Селивестров. – М.: Машиностроение, 1989. - 366 с.

5 Бакластов А.М. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплообменных установок / А.М. Бакластов, П.Г. Удима, В.А. Горбенко. – М.: Энергия, 1981.- 329 с.

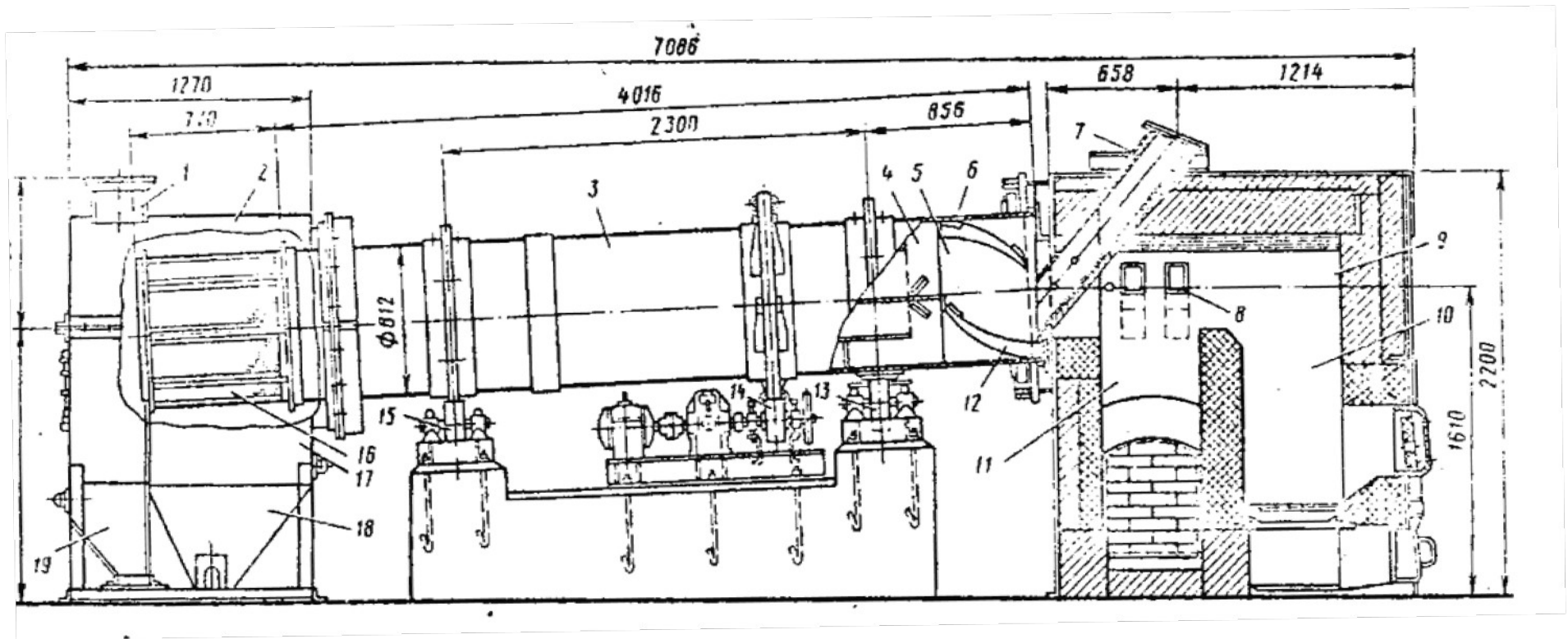
6 Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 241 с.

7 Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Т.2 / Пер. с англ.; Под ред. О.Т. Мартыненко. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 216 с.

8 Михеев М.А., Михеев И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977.

9 Ерощенко С.А., Щербаков В.Г., Крушедольский А.Г. Методические указания к лабораторной работе «Испытания ребристого трубчато-пластинчатого теплообменного аппарата». – Харьков: ХИИТ, 1987. – 14 с.

10 Щербаков В.Г., Ерощенко С.А., Крушедольский А.Г. Методические указания к лабораторной работе «Испытание кожухотрубчатого теплообменного аппарата». – Харьков: ХИИТ, 1987. - 10 с.



1 - димова труба; 2 – розвантажувальна камера з газовідвідною частиною; 3 - сталевий барабан; 4 – сушильна частина; 5 - приймальна частина; 6 – кутники; 7 – патрубок; 8 – канали; 9 – топка; 10 - камера згоряння; 11 - змішувальна камера; 12 – лопаті; 13, 15 – опора; 14 - приводний механізм; 16 – сито; 17 - бункерна частина; 18 - карман для сухого відсіяного піску; 19 - карман для приймання відсівів піску

Рисунок 7.1 - Загальний вигляд барабанної піскосушарки на димових газах СОБУ-1

