

## Лекція:2. Нагрівання і охолодження. Класифікація, будова, особливості, переваги і недоліки теплообмінників.

**Мета:** ознайомитися з основними способами нагрівання та охолодження, з класифікацією теплообмінників, їх будовою, перевагами та недоліками.

### План лекції

Вступ

1. Способи нагрівання і охолодження.
2. Будова теплообмінних апаратів.
3. Порівняння і вибір теплообмінних апаратів.

Висновки

Література

Питання

### Вступ

Температура є одним з найважливіших технологічних та економічних факторів більшості промислових виробництв. Підтримання у апаратах необхідної температури майже завжди поєднується з необхідністю підводу, або відводу тепла з метою нагрівання або охолодження речей, які обробляються. У всіх цих випадках, як наслідок, необхідно виконати перенос тепла із одного місця виробництва в інше — від теплоносіїв до речей, що нагріваються, від речей, що охолоджуються до холодоагентів, від однієї частини тіла до іншої його частини. Процес переносу тепла називається теплообміном, його рушійною силою є різниця температур. Перенос тепла здійснюється трьома різними способами: теплопровідністю, конвекцією та випроміненням. Кожний з цих способів має свої закономірності, які складають предмет теорії теплопередачі.

### **Способи нагрівання і охолодження.**

#### *Нагрівання водяною парою.*

Водяна пара є найбільш поширеним гарячим теплоносієм для нагрівання до температури 150-170 °С.

Переваги водяної пари як нагрівачого агента:

1. Високий коефіцієнт тепловіддачі.
2. Велика кількість тепла, яке виділяється при конденсації одиницею кількості пари.
3. Можливість транспортування по трубопроводах на значні відстані;

4. Рівномірність обігріву, так як конденсація пари відбувається при постійній температурі.
5. Легке регулювання обігріву.

Як правило застосовують насичену пару невисокого тиску (до 6-10 ат.), іноді перегрітої на 20-30 °С. Застосування перегрітої пари не дає особливих переваг так як теплота перегріву невелика в порівнянні з теплом конденсації, яке виділяється при нагріванні насиченою парою.

Доцільне також застосування відробленої пари абсолютним тиском 2-3 ат (після парових турбін з протитиском), або відбірної пари абсолютним тиском 6-7 ат (від турбін з проміжним відбором). В багатьох випадках можливе використання екстра-пари з випарних установок.

Нагрівання водяною парою виконується шляхом застосування гострого або глухого пару. При обігріві гострою парою її вводять безпосередньо в рідину, що нагрівається і конденсат, що утворюється, змішується з нею. Ввід пари в рідину виконується через трубу опущену нижче рівня рідини, або через барботер—трубу з великою кількістю невеликих отворів, розміщену також нижче рівня рідини. При використанні барботера відбувається також перемішування рідини. У тих випадках, коли розбавлення рідини або її змішування з водою недопустиме, обігрів гострою парою непридатний.

При обігріві глухим паром, рідину, що нагрівається, не стикається з парою, а відділена від неї стінкою, через яку і передається тепло. Такий спосіб обігріву, є найбільш поширеним. При обігріві глухою парою необхідно, щоб вона повністю сконденсувалася в апараті.

Абсолютно недопустима робота теплообмінника з пролітаючою парою. Тобто з неповною конденсацією пари, коли з апарату відводиться суміш конденсату і пари. При неповній конденсації пари розхід її підвищується. Для видалення з апарату конденсату без випуску з ним пари застосовують спеціальні пристрої – конденсатовідвідники (водовідвідними).

При постійному розході пари і надлишковому тиску до 7 ат застосовують підпірні шайби, які представляють собою диски з отворами в центрі. Діаметр отвору вибирають так, щоб шайба пропускала тільки конденсат.

Найбільше поширення мають конденсаційні горшки.

#### *Нагрівання парами висококиплячих рідин.*

Для нагрівання до температур вище 150-170 °С замість водяної пари високого тиску часто застосовують пари висококиплячих органічних рідин. З органічних рідин найбільш поширена дифенільна суміш, яка містить 73,5 % дифенілового ефіру  $C_6H_5-O-C_6H_5$  і 26,5 % дифенілу  $C_6H_5-C_6H_5$ . Дифенільна суміш плавиться і кипить при постійній температурі ( $T_{пл.}=12,3$  °С,  $T_{кип.}=258$  °С); вище 400 °С починається швидкий розклад дифенільної суміші. Нагрівання парами дифенільної суміші застосовують при температурах від 260 до 380-400 °С; при цьому абсолютний тиск парів доходить до 8-10 ат.

Пари ртуті застосовують для нагрівання до 380-500 °С.

Пари висококиплячих рідин одержують в паровому котлі, який обігривається паливними газами і направляють в теплообмінник, де вони конденсуються. Конденсат знову повертається в паровий котел.

#### *Нагрівання гарячими рідинами.*

При нагріванні гарячими рідинами частіше всього застосовують циркуляційний спосіб обігріву. Згідно цього способу нагриваючий агент, який знаходиться в замкненому просторі циркулює між піччю або іншим апаратом, де він нагривається, і теплообмінником, в якому він віддає одержане в першому апараті тепло. Таким чином, нагриваючий агент не витрачається, а служить лише переносником тепла від печі до теплообмінника. Нагрів гарячого теплоносія у печі відповідає його охолодженню в теплообміннику (якщо не брати до уваги незначні втрати тепла) і складає 5-10 °С.

Циркуляція може бути природною або примусовою. Природна циркуляція (Рис. 1.1.а.) відбувається за рахунок різниці густин: нагрітий агент внаслідок меншої густини піднімається вгору і поступає в теплообмінник, де він охолоджується, а потім знову повертається в піч. Для забезпечення циркуляції теплообмінник повинен бути розміщений вище печі на 4-5 м; однак швидкість циркуляції незначна (біля 0,2 м/с).

Примусову циркуляцію (Рис. 1.1.б) здійснюють з допомогою насоса. При цьому відпадає необхідність підйому апарата і можливі більш високі швидкості циркуляції, що веде до підвищення коефіцієнта тепловіддачі. В той же час установки з примусовою циркуляцією внаслідок наявності циркуляційного насоса складніші і менш надійні в експлуатації, ніж установки з природною циркуляцією.

Другий спосіб нагрівання гарячими рідинами полягає в застосуванні обігриваючих бань, які представляють собою апарати з сорочками, заповненими рідкими нагриваючими агентами. Сорочка нагривається паливними газами, з допомогою електрообігріву або зміювика. По якому пропускається пара високого тиску.

При нагріванні гарячими рідинами нагриваючими агентами служать, як правило, вода або висококиплячі органічні рідини. Гаряча вода, підігріта у водогрійних котлах (які обігриваються паливними газами) або в теплообмінниках-бойлерах, які обігриваються парою, використовується для нагрівання до 130-150 °С. Однак в цих умовах краще нагривати водною парою. Іноді вода під тиском, близьким до критичного (225 ат), застосовується для нагрівання до 300-350 °С по циркуляційному способу. Такий спосіб нагрівання називається обігривом перегрітою парою. Як нагриваючий агент вода частіше всього використовується у вигляді відкидної гарячої води, наприклад, конденсату з випарних апаратів або інших теплообмінних пристроїв. Використовування конденсату для нагрівання доцільне особливо у тих випадках, коли його по будь-яких причинах неможливо повернути в котельню.

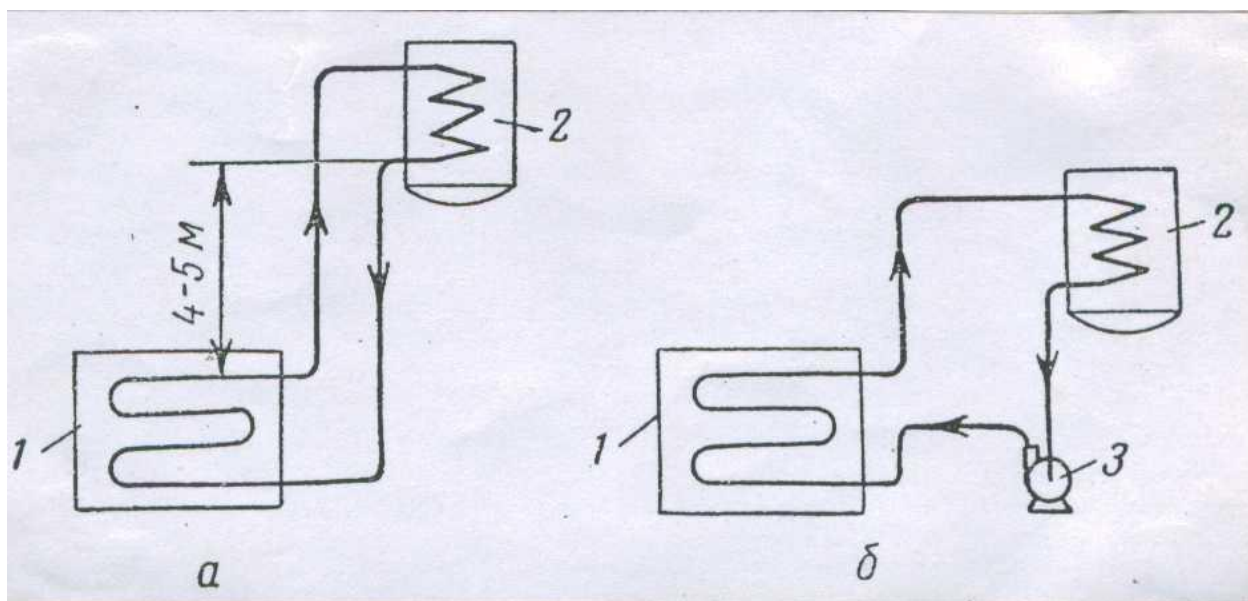


Рис. 1.1. Схема циркуляційного обігріву рідким нагрівачим агентом.  
 а – обігрів з природною циркуляцією; б – обігрів з примусовою циркуляцією;  
 1 – піч; 2 – теплообмінник; 3 – насос.

З висококиплячих органічних рідин для створення високих температур застосовують мінеральні масла (до 250-300 °С), тетрахлордифеніл (до 300 °С), нафталін, гліцерин, кремнійорганічні сполуки і інші. Найбільше поширення має дифенільна суміш (нагрів без тиску до 255 °С, під тиском до 380-400 °С), яка використовується для нагрівання по циркуляційному способу, а також для заповнення обігрівачих бань. Коефіцієнт тепловіддачі для рідкої дифенільної суміші в умовах природної циркуляції складає 200-350 Вт/м<sup>2</sup> град.

З інших рідких нагрівачих агентів для заповнення обігрівачих бань застосовують розплавлені солі і метали. Розплавлені солі, як правило потрібна нітрит-нітратна суміш (40 % NaNO<sub>2</sub>, 7 % NaNO<sub>3</sub>, 53 % KNO<sub>3</sub>) використовується для нагрівання в межах від 142 °С (температура плавлення суміші) до 500-530 °С. Розплавлені метали (легкоплавкі метали – Рь, Ві, Сd, Sb, Sn і їх сплави) застосовуються для нагрівання від точки їх плавлення до температури порядку 1000 °С.

#### *Нагрівання гарячими газами.*

Гарячі паливні гази, які утворюються при згоранні палива, застосовують для нагрівання до порівняно високих температур (від 400 до 700-1000 °С).  
 Схема обігріву паливними газами показана на рис. 1.2.

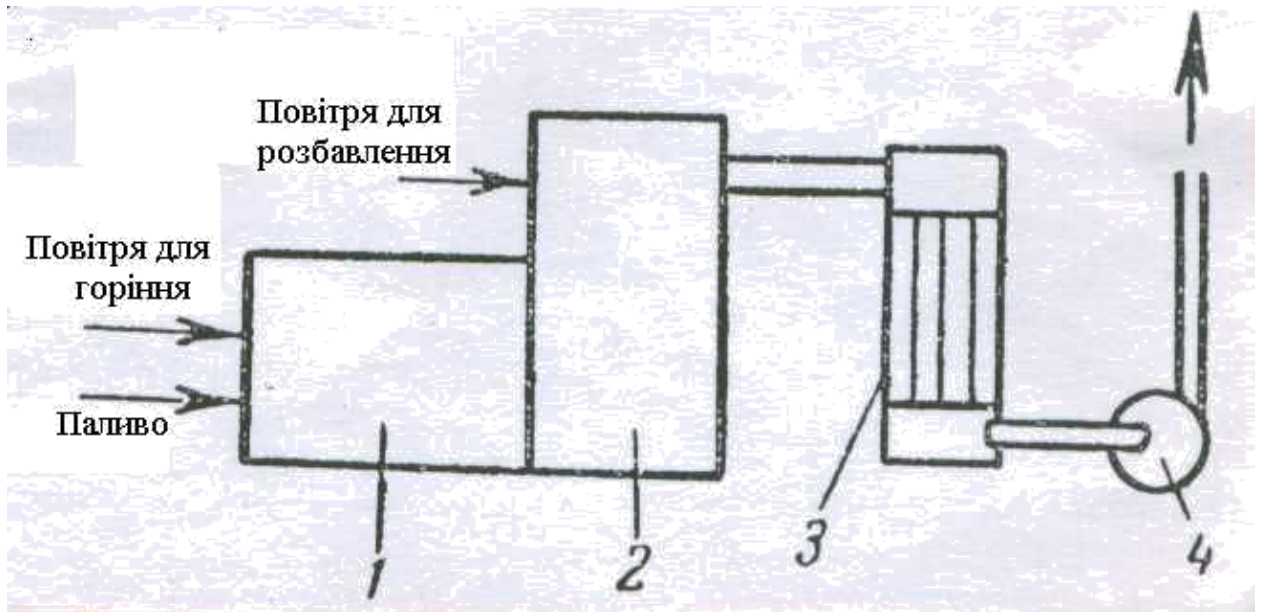


Рис. 1.2. Схема обігріву паливними газами.

1 – топка; 2 – камера змішування; 3 – теплообмінник; 4 – димосос

Паливні гази одержують в топці 1, в якій спалюють паливо і куди подається необхідне для горіння повітря. З топки гази поступають в камеру змішування 2, в яку подається повітря для розбавлення газів і зниження їх температури. Регулюванням подачі повітря в камеру змішування встановлюється необхідна температура газів перед теплообмінником. Проходячи теплообмінник, гази охолоджуються, віддають тепло і викидаються димососом в атмосферу.

Недоліки цього способу:

1. Низький коефіцієнт тепловіддачі;
2. Мала об'ємна питома теплоємність газів ( $1500 \text{ Дж/м}^3 \text{ град}$ ), що викликає необхідність пропускання значних об'ємів газу;
3. Нерівномірний обігрів, так як віддача тепла газами зв'язана з їх охолодженням;
4. Труднощі регулювання обігріву;
5. Забруднення речовини, що нагрівається (при передачі тепла безпосереднім стиканням).

Крім паливних газів одержуваних в спеціальній топці, часто використовують відроблені гази (від печей, котлів і т.п.) з температурою  $300\text{-}500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Так як при застосуванні відроблених газів не потрібно додаткової витрати палива, використання їх для нагрівання дуже раціональне навіть у тому випадку, коли гази приходится транспортувати на деяку віддаль.

#### *Нагрівання електричним струмом.*

Електрична енергія може використовуватися для нагрівання за допомогою:

- електричної дуги;
- нагрівання опором;

— діелектричного нагрівання.

Нагрівання електричною дугою застосовується в дугових печах і дає можливість розвивати високі температури (1500-2000 °С і вище). Розрізняють печі з відкритою і закритою дугою. В печах з відкритою дугою полум'я дуги утворюється між електродами розміщеними над матеріалом, що нагрівається, і тепло передається шляхом випромінювання. В печах з закритою дугою полум'я дуги утворюється між електродом і тим матеріалом, що нагрівається. Дугові печі не забезпечують рівномірного обігріву і точного регулювання температур. Їх використовують для виплавки металів, а також для одержання карбїду кальцію і фосфору.

Нагрівання опором проводиться безпосереднім пропусканням електричного струму через тіло, що нагрівається, або пропусканням струму через спеціальні нагрівальні елементи, від яких тепло передається матеріалу, що нагрівається шляхом випромінювання і конвекції. Частіше всього застосовують другий спосіб, який здійснюється наступним чином. Навколо обігрівуючого апарату розміщують нагрівні елементи, що не доторкаються до стінок апарату, і через які пропускається електричний струм; з зовнішньої сторони нагрівальних елементів влаштовується кожух, забезпечений вогнетривкою футеровкою або ізоляцією. Такий спосіб нагрівання застосовують при температурах до 1000- 1100 °С, дає рівномірний обігрів і забезпечує точне регулювання температури шляхом зміни напруги електричного струму, або шляхом включення і відключення частини елементів.

Діелектричне нагрівання, або нагрівання струмами високої частоти, засноване на тому, що при дії на діелектрик (непровідник електричного струму) змінного електричного поля частина енергії витрачається на переборення тертя між молекулами діелектрика і перетворюється в тепло; при цьому діелектрик нагрівається. Величина діелектричних втрат, а отже, і кількість виділеного тепла, пропорційні квадрату напруги і частоті струму. Щоб уникнути високих напруг, використовують струми високої частоти. Як правило, застосовують частоту  $1 \cdot 10^6$  -  $100 \cdot 10^6$  Гц при напруженості електричного поля 1000-2000 в/см. Струми високої частоти одержують за допомогою лампового генератора і підводять до конденсатора, між обкладками якого поміщається матеріал, що нагрівається. Достоїнствами діелектричного нагрівання є: безпосереднє виділення тепла у тілі, що нагрівається, що особливо важливо для матеріалів з низькою тепло-провідністю, до яких відноситься більшість діелектриків; нагрів всієї товщі матеріалу до необхідної температури на протязі короткого проміжку часу без перегріву окремих частин; легке регулювання процесу нагрівання і можливість його повної автоматизації.

#### *Охолодження.*

В якості охолоджуючих агентів використовують повітря і воду, а для

досягнення низьких температур – низькотемпературні агенти.

Повітря застосовують для природного і штучного охолодження, наприклад з допомогою вентилятора. При природному охолодженні нагрітій теплоносії охолоджується за рахунок втрат тепла через стінки апарату в навколишнє середовище. Штучне охолодження повітрям використовується в поверхневих і змішуючих теплообмінниках.

Поверхневі теплообмінники застосовуються рідко із-за низького коефіцієнта теплопередачі і значного розходу енергії при роботі вентилятора.

Змішуючі теплообмінники представляють собою апарати баштового типу, в яких охолоджуюче повітря рухається знизу вгору назустріч стікаючій рідині. При цьому охолодження відбувається не тільки за рахунок тепловіддачі, але в значній мірі і за рахунок випаровування частини рідини. Такі апарати широко використовуються для охолодження води і називаються градирнями.

Вода є найбільш поширеним охолоджуючим агентом. Її переваги: висока теплоємність, високий коефіцієнт тепловіддачі і доступність.

Крім звичайної води для охолодження часто використовують оборотну воду, тобто воду охолоджену в градирнях. В цьому випадку нагріта в теплообмінному апараті вода поступає на охолодження в градирню, після чого повертається на охолодження теплообмінного апарату. При користуванні оборотною водою свіжа вода витрачається тільки на поповнення її втрат внаслідок часткового випаровування в градирнях.

Низькотемпературні агенти використовують для створення температур нижче 5-20 °С. В якості таких агентів застосовують лід, охолоджуючі суміші (суміш льоду з різними солями), холодильні розсоли (розчини  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ) і пари рідин, які киплять при низьких температурах.

## **Будова теплообмінних апаратів.**



По способу передачі тепла розрізняють наступні типи теплообмінних апаратів:

1. Поверхневі, в яких обидва теплоносії розділені стінкою, причому тепло передається через поверхню цієї стінки;
2. Регенеративні, в яких процес передачі тепла від гарячого теплоносія до холодного розділяється по часу на два періоди і відбувається при почерговому нагріванні і охолодженні насадки теплообмінника;
3. Змішуючі, в яких теплообмін відбувається при безпосередньому стиканні теплоносіїв.

Основні типи поверхневих теплообмінних апаратів.

1. Трубчасті
  - а. – кожухотрубні;
  - б. – труба в трубі;
  - в. – зрошуючі;
  - г. – погрузні.
2. Пластинчасті;
3. Спиральні;
4. З поверхнею утвореною стінками апарату;
5. З оребреною поверхнею теплообміну.

#### *Трубчасті теплообмінники.*

Кожухотрубні теплообмінники (Рис.1.3). Це найбільш поширені теплообмінники. Вони складаються з пучка труб, кінці яких закріплені в спеціальних трубних решітках шляхом розвальцовки, зварювання, пайки, а іноді на сальниках.

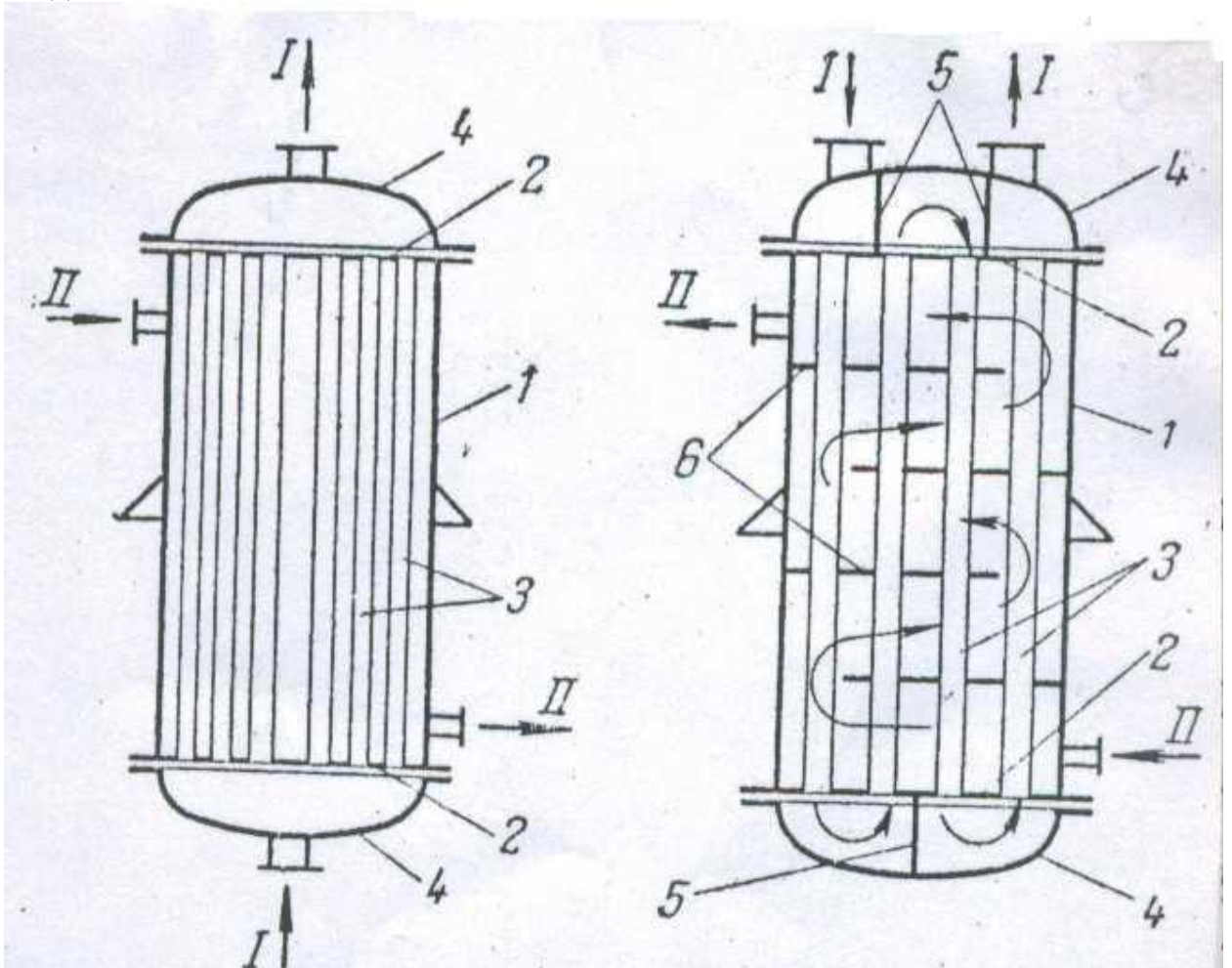


Рис. 1.3. Кожухотрубні одноходовий (а) і багатоходовий (б) теплообмінники. 1 – корпус; 2 – трубні решітки; 3 – труби; 4 – кришки; 5 – перегородки в кришках; 6 – перегородки у міжтрубному просторі.

На рис.1.3.а приведений кожухотрубний теплообмінник жорсткої конструкції, який складається з корпусу, або кожуха 1 і приварених до нього трубних решіток. В трубних решітках закріплені пучок труб 3. До трубних решіток кріпляться (на прокладках і болтах) кришки 4. В кожухотрубному теплообміннику одно із обмінюючих теплом середовищ I рухається в середині труб (у трубному просторі), а інше II – у міжтрубному просторі.

Середовища, як правило, направляють протитечійно один до другого. При цьому середовище, що нагрівається, направляють знизу вгору, а те що віддає тепло – у протилежному напрямку. Такий напрям руху кожного середовища співпадає з напрямом, в якому прагне рухатися дане середовище під впливом зміни її густини при нагріванні або охолодженні. Крім того, при вказаних напрямках руху середовищ досягається більш рівномірний розподіл швидкостей і ідентичні умови теплообміну по площі поперечного перерізу апарату. На противагу цьому, наприклад при подачі більш холодного (того, що нагрівається) середовища зверху теплообмінника, більш нагріта частина рідини, як більш легка, може накопичуватися у верхній частині апарату, утворюючи застійні зони.

Теплообмінник зображений на рис.1.3.а є одноходовим, де теплоносій рухається паралельно по всіх трубах. При порівняно невеликих витратах рідини швидкість її руху в трубах невисока і, отже, коефіцієнти тепловіддачі невеликі. Для збільшення останніх при даній поверхні теплообміну можна збільшити діаметр труб, відповідно збільшивши їх висоту (довжину). Однак теплообмінники невеликого діаметра і значної висоти незручні для монтажу, потребують високих приміщень і підвищення розходу металу на виготовлення деталей, які не беруть безпосередньої участі у теплообміні (кожух апарату). Тому більш раціонально збільшити швидкість теплообміну шляхом застосування багатоходових теплообмінників.

В багатоходовому теплообміннику (рис.1.3.б.) з допомогою поперечних перегородок 5, встановлених в кришках теплообмінника, труби розділені на секції, або ходи, по яких послідовно рухається рідина, яка протікає у трубному просторі теплообмінника. Внаслідок меншої площі сумарного поперечного перерізу труб, розміщених в одній секції, у порівнянні з поперечним перерізом

всього пучка труб швидкість рідини в трубному просторі багатоходового теплообмінника зростає.

По конструкції розрізняють теплообмінники з нерухомими трубними решітками (див. рис.1.3), в яких обидві решітки жорстко прикріплені до корпусу і труби не можуть вільно подовжуватися і теплообмінники з компенсуючими пристроями в яких труби можуть вільно подовжуватися.

В теплообмінниках з нерухомими трубними решітками при різному тепловому подовженні труб і кожуха виникають температурні напруження; тому такі теплообмінники застосовують при невеликій (до 50 °С) різниці температур між трубами і кожухом.

Компенсація неоднакового подовження труб і кожуха досягається установкою лінзового компенсатора, улаштуванням рухомої трубної решітки (плаваюча головка), застосуванням u-подібних труб, а також закріплення труб в решітках на сальниках (див. рис. 1.4 а, б, в.).

Теплообмінники з рухомою решіткою мають одну трубну решітку, закріплену в кожусі; друга решітка рухома і може переміщатися всередині апарату. В цих теплообмінниках пучок труб можна вийняти з кожуха для огляду і чистки між трубного простору.

Розглянуті теплообмінники можуть встановлюватися вертикально чи горизонтально, за винятком теплообмінників з плаваючою головкою відкритого типу, які встановлюються вертикально.

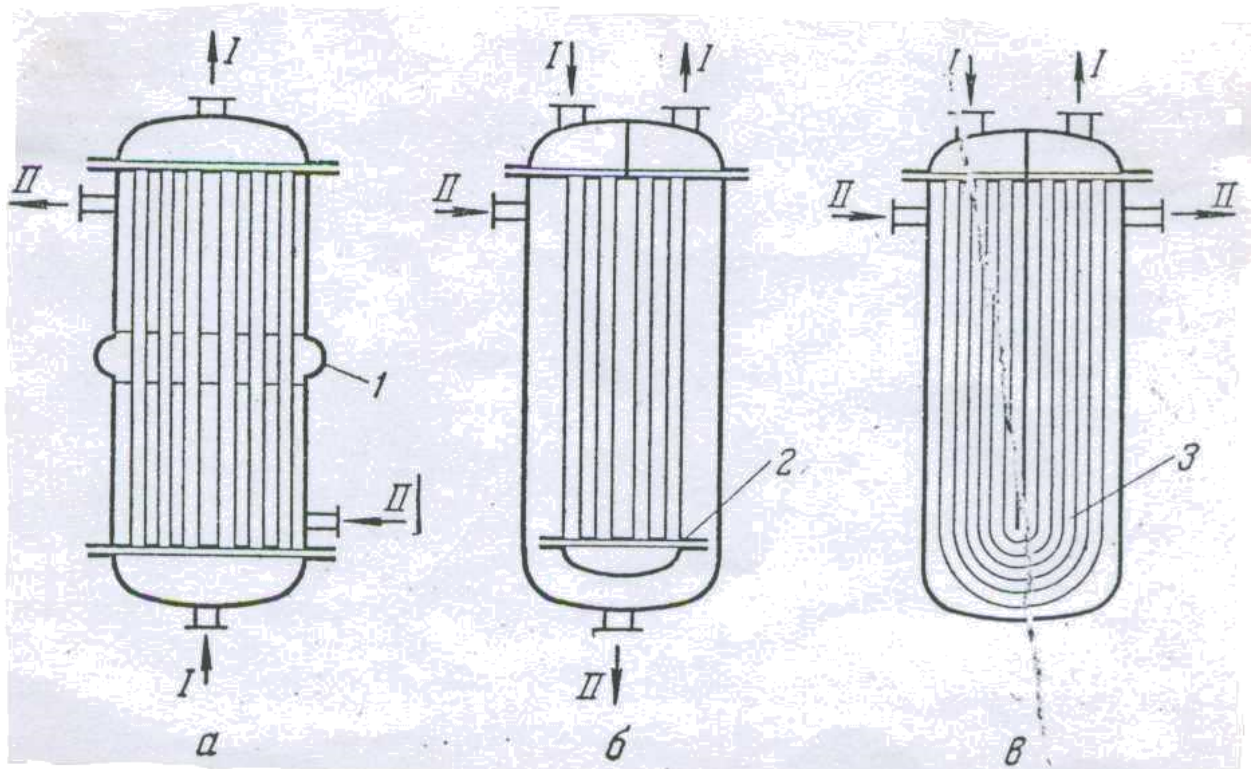


Рис. 1.4. Кожухотрубні теплообмінники з компенсуючими пристроями.  
 а – з лінзовим компенсатором; б – з плаваючою головкою;  
 в – з u-подібними трубками; 1 – компенсатор; 2 – рухома трубна решітка;  
 3 - u-подібні трубки.

Для підвищення швидкості руху теплоносія в між трубному просторі влаштовують поздовжні і поперечні перегородки.

Переваги кожухотрубних теплообмінників:

1. Компактність.
2. Невеликий розхід металу.
3. Легкість очистки труб всередині (за виключенням u-подібних труб).

Недоліки кожухотрубних теплообмінників:

1. Трудність пропускання теплоносіїв з високими швидкостями (цей недолік в певній мірі усувається у багатоходових і елементних теплообмінниках).
2. Трудність очистки між трубного простору і мала доступність його для огляду і ремонту.
3. Трудність виготовлення з матеріалів, які не допускають розвальцьовування і зварювання (чавун, ферросилід і ін.).

#### *Теплообмінник типу «труба в трубі».*

Ці теплообмінники складаються з декількох послідовно сполучених трубчастих елементів, утворених двома концентрично розміщеними трубами (див. рис. 1.5). Один теплоносій рухається по внутрішніх трубах 1, а другий – по кільцевому зазорі між внутрішніми 1 і зовнішніми 2 трубами. Внутрішні труби з'єднані калачами 3, а зовнішні – патрубками 4.

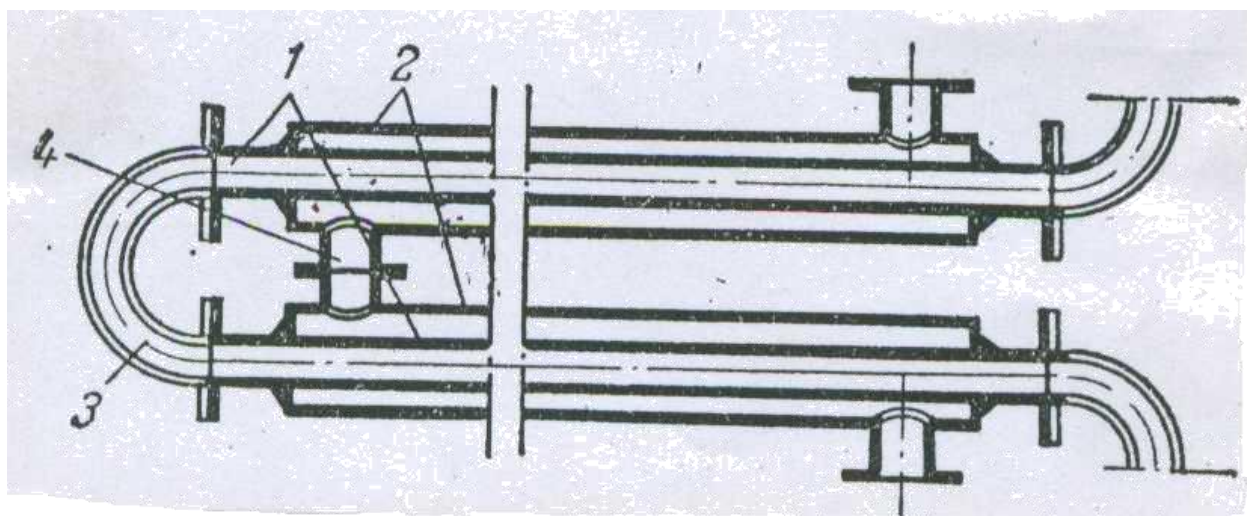


Рис 1.5. Теплообмінник «труба в трубі» 1. внутрішні труби; 2. зовнішні труби; 3. – калач; 4 – патрубок.

Дякуючи невеликим поперечним перерізам трубного і між трубного простору у цих теплообмінниках навіть при невеликих розходах досягаються досить високі швидкості рідин. Це дозволяє одержувати більш високі коефіцієнти теплопередачі і досягати більш високих теплових навантажень на одиницю маси апарату, ніж в кожухотрубних теплообмінниках.

Переваги теплообмінника «труба в трубі»:

1. Високий коефіцієнт теплопередачі внаслідок високої швидкості обидвох теплоносіїв.
2. Простота виготовлення.

Недоліки теплообмінника «труба в трубі»:

1. Громіздкість.
2. Висока вартість внаслідок великого розходу металу на зовнішні труби, які не беруть участь у теплообміні.
3. Трудність очистки міжтрубного простору.



## **Порівняння і вибір теплообмінних апаратів.**

Для досягнення високих коефіцієнтів теплопередачі слід пропускати через апарат теплоносії з високими швидкостями; однак при цьому зростає гідравлічний опір. Крім того для одержання високого коефіцієнта теплопередачі поверхня теплообміну повинна бути вільна від забруднень а для видалення утворених забруднень вона повинна бути доступна для очистки. При збільшенні швидкості одного з теплоносіїв коефіцієнт теплопередачі помітно підвищується тільки в тому випадку, якщо коефіцієнт тепловіддачі зі сторони другого теплоносія достатньо високий, а тепловий опір стінки і забруднень невеликий. Так, якщо коефіцієнт тепловіддачі у міжтрубному просторі значно нижчий ніж в трубах (наприклад, в міжтрубному просторі проходить газ, а по трубах рідина), то зростання швидкості в трубах майже не впливає на величину коефіцієнта теплопередачі; в цьому випадку слід збільшувати коефіцієнт тепловіддачі в міжтрубному просторі, наприклад шляхом установки в ньому перегородок.

Для вирішення питання про те, який з теплоносіїв пропускати по трубах, а який – з зовнішньої сторони труб, слід притримуватися наступних правил:

1. Теплоносій, з якого виділяється осад, рекомендується пропускати з тієї сторони поверхні теплообміну, з якої легше проводити очистку.
2. Для досягнення високого коефіцієнта теплопередачі теплоносій з меншим коефіцієнтом тепловіддачі слід пропускати по трубах.
3. Теплоносій, який викликає корозію апаратури, доцільно пропускати по трубах, так як в цьому випадку застосування протикорозійного матеріалу необхідне тільки для труб, решіток і камер; кожух же може бути зроблений зі звичайного матеріалу.
4. Для зменшення втрат тепла теплоносій з високою температурою доцільно пропускати по трубах; в холодильниках втрати тепла зменшують розхід охолоджуючого агента, тому гарячий теплоносій слід пропускати з зовнішньої сторони труб.
5. Теплоносій з високим тиском необхідно пропускати по трубах, щоб корпус не знаходився під тиском.

### **Висновки**

1. При виборі теплообмінників основною характеристикою є коефіцієнт теплопередачі.
2. Корозійний теплоносій доцільно пропускати по трубах а не по міжтрубному просторі, що пов'язано з меншою витратою цінних антикорозійних матеріалів.
3. Теплоносій з високим тиском теж пропускається по трубах для зменшення витрат на матеріали теплообмінника.

## Література

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Химия, 1973.
2. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. Химия, 1968.
3. Перри Дж. Справочник инженера-химика. Химия, 1969.
4. Чернобыльский И.И., Бондарь А.Г., Гаевский Б.А. и др. Машины и аппараты химических производств. Химия, 1962.
5. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Машиностроение, 1970.
6. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена Наука, 1970.
7. Григорьев В.А., Колач Т.А., Соколовский В.С. и др. Краткий справочник по теплообменным аппаратам. Госэнергоиздат, 1962.
8. Чечеткин А.В. Высокотемпературные теплоносители Энергия, 1971.

## Питання

1. Які особливості нагрівання водяною парою?
2. Які особливості нагрівання висококиплячими рідинами?
3. Які особливості нагрівання гарячими газами?
4. Які особливості електрообігріву?
5. Як проводиться охолодження в промисловості?
6. Які є види теплообмінників?
7. Як проводиться вибір теплообмінників?