

Лекція 5

ТЕПЛООБМІННІ АПАРАТИ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН

- 4.1. Конденсатори.
- 4.2. Випарники.
- 4.3. Теплообмінники

Література

1. Голянд М.М. Холодильное технологическое оборудование / М.М. Голянд, Б.Н. Малеванный. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 336 с.
2. Масліков М.М. Холодильна технологія харчових продуктів: Навч. посіб. / М.М. Масліков – К.: НУХТ, 2007. – 335 с.
3. Холодильні установки: Підручник / 6-е вид., перероблене і доповнене / І.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін.; За ред. І.Г. Чумака. – Одеса: Рефпринтінфо, 2006. – 550 с.

4.1. Конденсатори. Призначення і типи конденсаторів.

Конденсатор – це теплообмінний апарат, головне призначення якого – відведення теплоти, забраної холодоагентом від охолоджуваного середовища або об'єкта, а також теплоти, еквівалентної роботі стиснення в компресорі. В результаті передачі теплоти охолоджуючої середовищі стислий перегрітий пар холодоагенту спочатку охолоджується до температури конденсації. Потім по мірі відводу прихованої теплоти від холодоагенту останній поступово перетворюється в рідину (конденсується). В якості охолоджуючої середовища в більшості випадків застосовують повітря або воду. У малих холодильних машинах для підприємств торгівлі і громадського харчування, в машинах середньої продуктивності, що використовуються на транспорті, а також в установках промислових підприємств конденсатори охолоджуються потоком повітря, примусово створюваним спеціальним (зазвичай осьовим) вентилятором.

Конденсатори з повітряним охолодженням.

Конденсатори цього типу для малих і середніх холодильних машин класифікують:

за способом циркуляції повітря:

- з природною циркуляцією,
- з примусовим рухом повітря;

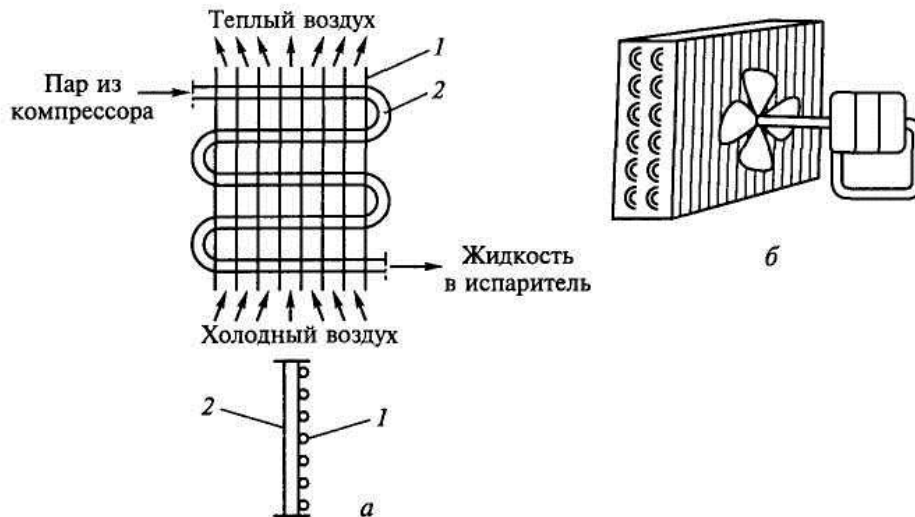
за умовами руху холодоагенту в секціях конденсатора:

- з послідовним рухом,
- з паралельним рухом,
- з послідовно-паралельним рухом;

за місцем установки:

- вбудовані (встановлені на рамі компресорного агрегату),
 - виносні (встановлені окремо від компресора);
- по виду теплопередаючої поверхні:
- гладкотрубні,
 - ребристотрубні.

Конденсатори являють собою один або кілька рядів плоских вертикальних змійовиків із сталевих або мідних труб з укріпленими на них пластинчастими ребрами (рис. 4.1).



1 – дротяні ребра; 2 – труба змійовика конденсатора

Рис. 4.1. Конденсатор повітряного охолодження з вільним (а) і вимушним (б) рухом повітря

Теплопередаюча поверхня повітряних конденсаторів виконана, як правило, з труб з насадженими на них пластинчастими ребрами. При використанні мідних труб надійний тепловий контакт між ребрами і трубами здійснюється або при протягуванні через труби сталеві кульки або циліндра, діаметр яких на 0,5 мм більше внутрішнього діаметра труби, або гідравлічним способом. Ребра можуть виконуватися також шляхом навивки на трубу стрічки, або видавлюванням ребер безпосередньо з матеріалу труби. Іноді роблять ребра не тільки зовні, але і всередині шляхом використання різних вставок-насадок. Головним чинником, що впливає на режим роботи конденсатора з повітряним охолодженням і холодильного агрегату в цілому, є температура навколишнього повітря, величина якої визначає насамперед значення температури конденсації – одного з головних робочих параметрів холодильної машини.

Розміри конденсатора в значній мірі впливають на енергетическіе і шумові характеристики холодильного агрегату.

Основні вимоги до конденсаторів:

- крок між ребрами повинен бути не менше 2,5 мм для запобігання швидкої насиченості міжреберної поверхні;
- потужність і габарити вентилятора повинні бути обмежені по шумовим характеристикам;
- для вбудованих конденсаторів їх висота лімітується висотою компресора;
- заданий температурний напір між температурою конденсації і повітря на вході обмежується споживаною компресором потужністю.

Конденсатори з водяним охолодженням.

Їх застосовують у холодильних установках, до яких висувають підвищені вимоги щодо безшумності і в тих випадках, коли наявна дешева вода. Конденсатори цього типу компактні, більш легкі і менш гомінкі, ніж повітряні, так як не мають вентилятора. Існує кілька типів конструкцій конденсаторів: кожухозмійовикові, двотрубні (типу «труба в трубі») і кожухотрубні. У малих і середніх установках в основному застосовують перші два типи конденсаторів (рис. 4.2).

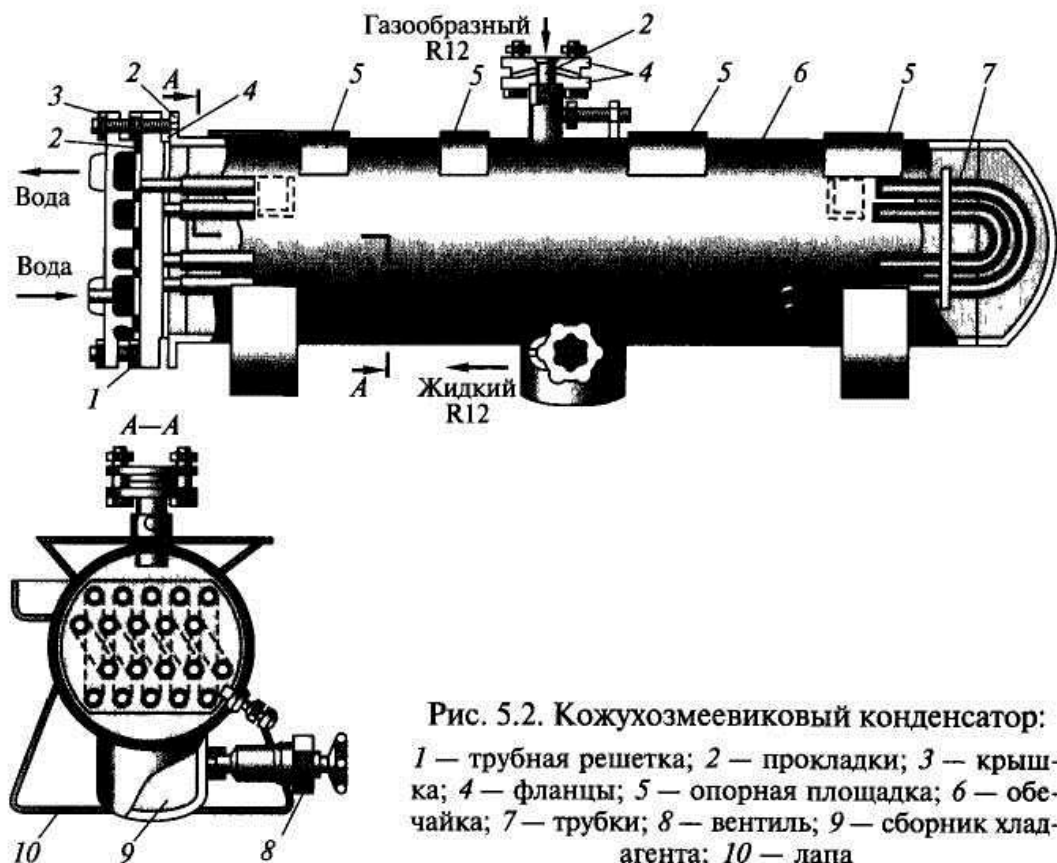


Рис. 4.2 Кожухозмійовиковий конденсатор

Кожухозмійовиковий конденсатор складається з одного або декількох гладкотрубних або оребрених мідних змійовиків, які знаходяться у зварному сталевому кожусі. Охолоджуюча вода циркулює через змійовики, а холодоагент — через кожух.

Типовою конфігурацією двотрубного конденсатора є спіральний, або коаксіальний (співвісний), конденсатор. Двотрубний конденсатор складається з двох труб, змонтованих одна в іншій. Вода проходить через внутрішню трубу, а холодоагент тече в протилежному напрямі в кільцевому просторі між внутрішньою та зовнішньою трубами. У разі протитоку створюється максимальна середня різниця температур між середовищами і, отже, максимальна інтенсивність теплопередачі.



1 – зовнішня труба; 2 – внутрішня труба

Рис. 4.3. Поперечний переріз конденсатора типу «труба в трубі»

Теплове навантаження на конденсатор. Загальна теплове навантаження на конденсатор складається з теплоти, поглиненої холодоагентом у випарнику, і теплоти, еквівалентної роботі стиснення. Таким чином, для герметичних агрегатів продуктивність конденсатора (кВт) можна виразити наступним чином:

$$Q_K = Q_O + N_{\Sigma}, \quad (4.1)$$

де Q_O – холодопродуктивність компресора, кВт;

N_{Σ} – потужність, споживана вбудованим електродвигуном, кВт.

Теплове навантаження на конденсатор можна також визначити, користуючись основним рівнянням теплопередачі:

$$Q_K = F \cdot k \cdot \Delta t_m, \quad (4.2)$$

де F – площа поверхні конденсатора, м²;

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

Δt_m – середня логарифмічна різниця між температурами конденсації холодоагенту і навколишнього середовища, К.

З рівняння (4.2) видно, що при заданому значенні коефіцієнта теплопередачі теплове навантаження прямо пропорційне площі поверхні конденсатора і різниці між температурами конденсації холодоагенту і охолоджуючої середовища. Очевидно, що якщо середня температура охолоджуючого середовища постійна, теплове навантаження змінюється тільки при зміні температури конденсації.

Середня логарифмічна двох величин є їх відношення їх різниці до різниці їх натуральних логарифмів

$$\Delta t_m = \frac{t_{охл2} - t_{охл1}}{\ln \frac{t_k - t_{охл1}}{t_k - t_{охл2}}}, \quad (4.3)$$

де $t_{охл1}$, $t_{охл2}$ – початкова і кінцева температури охолоджуючого середовища, °С;

t_k – температура конденсату, °С.

Теплове навантаження на конденсатор багато в чому залежить від наступних факторів:

- площі поверхні конденсатора;
- різниці температур між охолоджуючим середовищем і пароподібним холодоагентом;
- інтенсивності потоку охолоджуючого середовища, що протікає через конденсатор;
- чистоти теплопередаючої поверхні.
-

Умови роботи конденсатора.

При підборі конденсатора для холодильної системи зазвичай виходять з його здатності впоратися з навантаженням на компресор при бажаній різниці між температурою конденсації і очікуваної температурою охолоджувальної середовища. Для більшості конденсаторів з повітряним охолодженням цю різницю приймають 10-12 °С. В спеціальних випадках конденсатори працюють при більшій чи меншій різниці температур. За певних умов (зокрема, при неякісному ремонті агрегату) в холодильному контурі може накопичитися деяка кількість повітря. А складові повітря азот і кисень будуть залишатися в газовій фазі при будь-яких температурі і тиску, застосовуваних у торговому холодильному обладнанні, тобто їх можна розглядати як гази, які

неконденсуються. Якщо повітря і холодоагент знаходяться в герметичній системі, то за законом Дальтона тиск компонентів повітря додається до тиску холодоагента. Надлишок тиску, що перевищує тиск конденсації і залежить від обсягу наявного в апаратах повітря, є основною причиною роботи системи при надмірно високому тиску нагнітання. Шар бруду, пилу або масла на поверхні конденсатора являє собою теплову ізоляцію і перешкоджає відведенню теплоти від холодоагенту, викликаючи тим самим підвищення тиску. Тому для підтримки максимальної ефективності апарату необхідно періодично очищати поверхню конденсатора.

4.2. Випарники. Призначення і типи випарників.

Випарник, так само як і конденсатор, є однією з найважливіших частин холодильної машини. Випарник – теплообмінний апарат, в якому за рахунок кипіння холодоагенту теплота відводиться від охолоджуваного об'єкта. У холодильному обладнанні в основному поширені випарники, які охолоджують повітря, з примусовою і природною циркуляцією повітря. В даний час в малих і середніх холодильних установках переважно використовують випарники з примусовою циркуляцією повітря (повітроохолоджувачі). По конструкції випарники поділяють на ребристотрубні, листотрубні і гладкотрубні. У ребристотрубних повітряохолоджувачах рідкий холодоагент кипить в оребрених трубах, поглинаючи теплоту з повітря, що продувається через змійовик вентилятором (рис. 4.4).

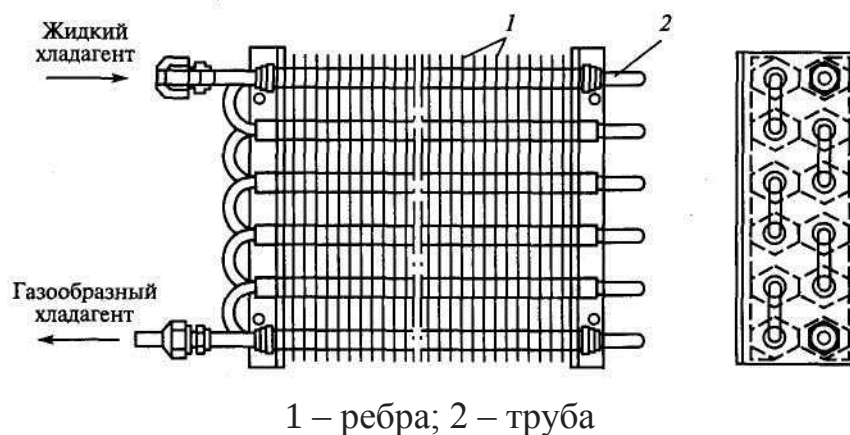


Рис. 4.4. Ребристотрубний повітроохолоджувач

Оребрення труб може бути різним: пластинчасті ребра, насаджені на труби; ребра, навиті у вигляді стрічок; ребра, накатані на поверхні труб.

Листотрубні випарники для льодогенератора виготовляють з листів нержавіючої сталі, зварених шовним зварюванням. На одному з листів виштамповані канали для потоку холодоагента.

У спеціальних випадках застосовують гладкотрубні випарники різних розмірів, форм і конструкцій. Найбільш поширеною формою є плоский або

овальний змійовик. Великі підвісні стельові гладкотрубні випарники з природною циркуляцією знаходять застосування в низькотемпературних холодильних камерах, в яких необхідно, щоб повітря рухалося з невеликою швидкістю.

За способом руху холодоагенту випарники поділяють на:

- сухі (змієвикові)
- затоплені.

У змеевикових випарниках холодоагент зазвичай подається зверху і йде вниз. При цьому способом легко досягається повернення масла в компресор і потрібно менше холодоагенту для зарядки системи. Але в цій конструкції коефіцієнт теплопередачі трохи нижче.

У затоплених випарниках холодоагент подається знизу. При цьому випарник працює більш ефективно, але складніше забезпечити повернення масла і потрібно більше хладагента, який заряджається в систему. Хоча змєєвикові випарники менш ефективні з точки зору теплопередачі, але, враховуючи їх переваги, відмічені раніше, а також їх відносну дешевизну і простоту виготовлення, вони переважають в малих і середніх холодильних машинах.

Передача тепла від охолоджуваного об'єму до холодоагенту у випарнику відбувається в два етапи: теплота з охолоджуваного простору сприймається металевими стінками випарника, а після нього вона передається від стінок циркулюючому в ньому холодоагенту. Інтенсивність теплопередачі залежить від різниці температур між навколишнім повітрям і поверхнею випарника, швидкості руху потоку повітря біля поверхні випарника, теплопровідності металу, з якого виготовлений випарник, і товщини шару інею на поверхні випарника. У більшості установок забезпечується примусовий обдув випарника, в результаті чого його потужність збільшується більш ніж у 20 разів порівняно з холодопродуктивністю випарника з природною циркуляцією. Передача теплоти від поверхні випарника холодоагенту є найважливішим чинником, оскільки саме холодоагент поглинає теплоту і забирає її з зони охолодження. Ефективність передачі теплоти від поверхні випарника до холодоагента залежить від цілого ряду факторів, найважливішими з яких є наступні:

- площа поверхні випарника;
- різниця температур між охолоджувальної середовищем і киплячим холодоагентом;
- швидкість руху потоку теплоносія в трубах випарника (чим більше швидкість, тим вище інтенсивність теплопередачі);
- відношення площі поверхні труб до площі поверхні ребер випарника;
- відсутність масляної плівки на внутрішніх поверхнях труб змійовика

. **Способи відтаювання випарника.** У процесі роботи холодильної установки на зовнішній поверхні випарника, в тому числі на ребрах і трубках, при температурі нижче 0°C утворюється шар інею, який потрібно вчасно видаляти, оскільки при наявності такого шару різко падає холодопродуктивність. Це відбувається з двох причин: шар інею, володіючи термічним опором, що значно знижує коефіцієнт теплопередачі (на 15...20%), внаслідок чого погіршуються економічні показники роботи холодильної машини; через зменшення прохідного перерізу повітряного потоку знижується витрата повітря, що проходить через випарник, а відповідно і коефіцієнт теплопередачі.

Способи відтавання можуть бути як природними, так і примусовими. Природний спосіб відтавання реалізується шляхом зупинки обладнання вручну. При цьому випарник за рахунок теплопритоків ззовні нагрівається і іній тане. Потім холодильну установку знову включають вручну. При автоматичному відтаванні застосовують різного роду програмні пристрої, таймери для виключення холодильної установки через рівні проміжки часу. Число і тривалість періодів відтавання задають для кожної установки окремо. У будь-якому випадку тривалість процесу відтавання повинна бути такою, щоб установка включилася в роботу як можна швидше після відтавання. Це досягається у разі використання схеми, в якій сигнал від температурного датчика до закінчення циклу відтавання дається при підвищенні температури поверхні випарника вище точки танення інею. У малих і середніх холодильних установках широко застосовують відтавання випарника за допомогою електропідігріву. Найчастіше для цього використовують трубчасті (ТЕН) або стрічкові електронагрівачі. Включення системи відтавання випарника, як правило, виконується таймером, а її зупинка — по команді термореле випарника. Недоліком такого способу є збільшення витрат енергії, що витрачається на танення льоду і наступне охолодження камери. Основна його перевага — простота. Альтернативним є спосіб відтавання гарячими парами хладагента, які нагнітають безпосередньо у випарник. Цей спосіб більш економічний, але для перемикання потоку холодоагента з конденсатора у випарник необхідно використовувати соленоїдні вентилі та зворотні клапани або перемикачі потоку. Ще один серйозний недолік цього способу полягає в тому, що рідкий холодоагент надходить у компресор (до початку, або після закінчення циклу відтавання) і може призвести до його пошкодження. Для усунення цього недоліку необхідно встановити спеціальні засоби для повторного випаровування холодоагента. Це ускладнює схему машини і знижує її надійність.

4.3. Теплообмінники

Регенеративні теплообмінники призначені для здійснення теплообміну між парою, всмоктуваною компресором, і рідким холодоагентом, що виходить з конденсатора.

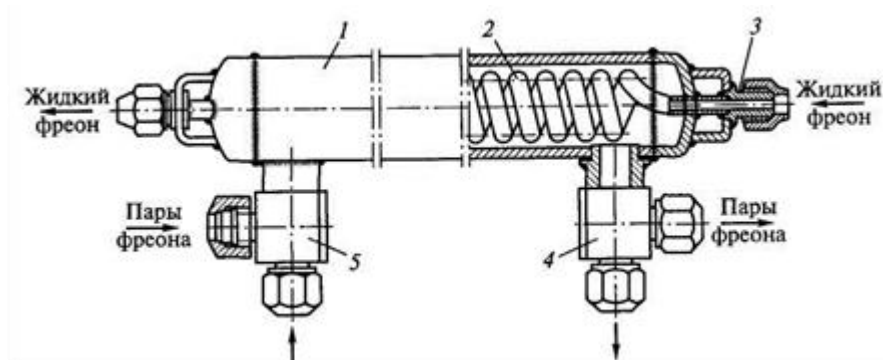
В регенеративних теплообмінниках одна і та ж поверхня нагріву періодично омивається гарячим, холодним теплоносієм, тобто спершу поверхню відбирає теплоту і нагрівається, а потім віддає теплоту і охолоджується.

Застосування регенеративних теплообмінників дозволяє вирішувати наступні завдання:

- поліпшення характеристик термодинамічного циклу холодильних машин, що працюють на фреоні;
- перегрів пари холодоагенту на всмоктуванні дозволяє уникнути «вологого ходу» компресора, тобто підвищити його надійність;
- переохолодження рідкого холодоагенту перед дроселюючим пристроєм дозволяє зменшити його розміри і поліпшити енергетичні характеристики холодильної машини;
- підвищення ефективності роботи випарника шляхом зниження сухості виходить з нього пара.

Найбільше поширення в малих холодильних машинах отримали два типи теплообмінників: двотрубні і кожухозмійовикові. У двотрубних апаратах рідкий холодоагент протікає в просторі між внутрішньою і зовнішньою трубами. Холодна пара, яка всмоктується, надходить з великою швидкістю, вдаряється об стінки внутрішньої труби, в результаті чого забезпечується висока інтенсивність теплообміну.

В установках холодопродуктивністю понад 3,5 кВт використовують кожухозмійовикові теплообмінники, в сталевому кожусі яких паралельно встановлено кілька змійовиків (рис. 4.5).



1 – корпус; 2 – змійовик; 3 – штуцер для входу рідкого холодоагенту; 4 – вихідної патрубку; 5 – вхідний патрубку

Рис. 4. 5 – Теплообмінник кожухозмійовиковий:

У двотрубних апаратах рідкий холодоагент протікає в просторі між внутрішньою і зовнішньою трубами. Холодна пара, яка всмоктується, надходить з великою швидкістю, вдаряється об стінки внутрішньої труби, в результаті чого забезпечується висока інтенсивність теплообміну.

Двотрубний апарат рекомендується застосовувати в тих випадках, коли конденсація вологи з повітря небажана. Оскільки в цій конструкції теплий рідкий холодоагент знаходиться у зовнішньому кожусі, а пара проходить через центральну трубу, конденсації вологи з навколишнього повітря не відбувається.