

ХІІ. Топлообменни апарати

1. Топлопроводност, топлопредаване и топлинно излъчване

Топлообменът се използва за интензифициране на химични реакции и благоприятства протичането на важни процеси в химическата, хранително-вкусовата и биотехнологичната промишленост - екстракция, абсорбция, кристализация, разтваряне, сушене и др. Топлината се предава без разход на работа само от тела с по-висока към тела с по-ниска температура, като топлообменът продължава до изравняване на температурите. Следователно движеща сила при протичането на топлообменните процеси е температурната разлика.

Преминаването на топлина от една част на пространството в друга може да стане по три начина:

- чрез топлопроводност (кондукция);
- чрез топлопредаване (конвекция);
- чрез топлинно излъчване (радиация).

2. Топлоносители – видове

Топлоносителят е материална среда(агент), която предава или отнема топлина от друга материална среда, използвана в определен технологичен производствен процес, където нагриването или охлаждането са необходим етап от получаването на крайния продукт. Например нагриването на въздуха е необходим етап за производствения процес при конвективно сушене на влажни материали.

Обикновено едната от материалните среди, които протичат в топлообменника, е определена като елемент от технологичния процес със съответните режимни параметри - дебит, налягане, температури и топлофизични свойства. В повечето случаи топлоносителят може да бъде подбран от конструктора на топлообменния апарат. Понякога той също се задава според изискванията за технологичния процес.

От икономическа гледна точка най-подходящ е този топлоносител, при който топлообменната повърхност и разходът на енергия за осъществяване на циркулацията са най-малки и чиято цена е най-ниска.

При **избор на топлоносител** трябва да се спазват следните по-важни показатели: **минимална токсичност; минимално корозионно и замърсяващо въздействие върху конструкционните материали; висока температура на кипене и разлагане; ниска температура на втвърдяване; добри топлофизични свойства; взриво- и пожаробезопасност.**

Освен това топлоносителите трябва да позволяват регулиране на температурата в широки граници с достатъчна точност.

Вода

Като топлоносител водата има най-голямо приложение за битови и промишлени цели. Използва се предимно в температурния интервал $80 \div 150^{\circ}\text{C}$. В промишлеността и енергетиката тя се използва по-широко като охлаждаща среда, тъй като има редица положителни качества: намира се в голямо количество в природата, евтина е, нормалната ѝ естествена температура ($10 \div 15^{\circ}\text{C}$) е напълно подходяща за повечето случаи на охлаждане, циркулационното ѝ охлаждане се реализира с минимални средства, има ниска корозионна активност, голям специфичен топлинен капацитет, висок коефициент на топлопредаване, малък и почти постоянен вискозитет.

Като топлоносител водата се използва за почти всички конструкции топлообменни апарати. При работа с нея се препоръчва скоростта ѝ в каналите да бъде $1,5 \div 2\text{м/сек}$, с което се осигурява ефективен топлообменен процес.

Наситена водна пара

За нагриване на различни вещества често е много по-целесъобразно да се използва наситена водна пара вместо гореща вода. Топлофизичните им качества са близки, но при кондензация

температурата остава постоянна, а за да се постигне определена температура на нагриване, водата трябва да има много висока начална температура.

Положителните качества на наситената водна пара като топлоносител са: много висок коефициент на топлопредаване; голяма стойност на скритата топлина при изпарение; постоянна температура при постоянно налягане, безвредност. При използването ѝ като топлоносител топлообменните апарати могат да имат значително по-малки размери.

Процесът на нагриването се регулира лесно чрез изменение на налягането, което еднозначно определя температурата на парата. Пропуски на водна пара през уплътненията не са опасни, тъй като тя не е токсична, но съществува опасност от обгаряния при непосредствен контакт.

Полученият кондензат от парата има малък специфичен обем и връщащите топлопроводи (кондензаторпроводи) имат много по-малки сечения от паропроводите. Тъй като наситената водна пара няма корозионно действие, тръбопроводите могат да се изработват от обикновени въглеродни стомани.

Наситената водна пара има някои недостатъци : при висока температура се изисква високо налягане(например на 300°C съответствува налягане 8,76MPa); при високи температури и съответни налягания термичното съпротивление става по-високо за сметка на увеличената дебелина на стената, която се определя от съображения за якост.

От икономическа гледна точка целесъобразно е да се използва наситена водна пара с температура до 180 - 200°C, което отговаря на налягане $1 \div 1,6$ MPa.

Коефициентът на топлопредаване при кондензация на наситена водна пара намалява, ако парата съдържа некондензиращи газове, като въздух и др. Това изисква предварително обезвъздушаване на инсталацията и непрекъснато отвеждане на въздуха, отделен при кондензацията, ако парата е получена от недоаерирана(необезвъздушена) вода.

Прегрята водна пара

Има значително по-малко приложение в промишлеността като топлоносител. Тя се ползва само при необходимост от високи температури на нагриване. По своите свойства прегрялата пара е близко до газовете - има нисък коефициент на топлопредаване и малък специфичен топлинен капацитет, но изисква малко топлина за прегряване.

Ако охлаждането на прегрялата пара става до температурата на кондензация, общата ефективност на процеса се повишава.

Димни газове

Това са най-разпространените газообразни топлоносители. Те имат следните положителни свойства: могат да бъдат използвани при високи температури(до $900 \div 1100$ °C) без опасност от химично разлагане, налягането им не се отличава от барометричното, цената им зависи само от цената на горивото, което е използвано в процеса на получаване. В случаите, когато димните газове са от даден продукт, температурата им може да се изменя в широки граници чрез смесване с атмосферен въздух.

Димните газове имат и някои недостатъци: нисък коефициент на топлопредаване и малък специфичен топлинен капацитет. Те не са подходящи за пряко нагриване на някои химически и хранителни продукти. Димните газове се използват най-често за загряване на въздух за нуждите на различни промишлени съоръжения, като парни котли, сушилни уредби и др.

Минерални масла

Минералните масла могат да се използват като топлоносители за температури до 230 °C. При по-високи температури те започват да се разлагат. Като топлоносители минералните масла имат сериозни недостатъци: нисък коефициент на топлопредаване, малък специфичен топлинен капацитет и голям вискозитет. Те са пожароопасни - постепенно се образуват неразтворими вещества, които се натрупват върху топлообменната повърхност, появяват се водоразтворими киселини.

Измененията в качествата на маслата водят до увеличаване на вискозитета им и до осмояване и коксуване на топлообменните повърхности, което рязко снижава топлинната мощност на топлообменния апарат.

В много технологични процеси нагриването с минерални масла е задължително, но е необходимо да се използват подходящи топлообменни апарати, при които е възможно да се почиства топлообменната повърхност и скоростта на потока е до 1 м/сек.

Високотемпературни топлоносители

С малки изключения разгледаните до тук топлоносители могат да се използват за температури до $250 \div 300^{\circ}\text{C}$. В случаите, когато е необходимо нагриване до по-високи температури, намират приложение т.нар. високотемпературни топлоносители. Като такива могат да се използват разтопени неорганични соли, метали в течно състояние, органични и неорганични вещества. Търговските наименования на най-известните от тях са даутери, дифил, термекс и др.

Течни метални топлоносители

Особено важни предимства на тези топлоносители са големите им топлопроводност и топлоустойчивост и ниските налягания на насищане при високи температури. Това позволява да се използват в процеси, изискващи много високи температури на нагриване (над 700°C). Благодарение на своите изключителни топлоотдаващи качества намират широко приложение в ядрената техника. Течните метални топлоносители имат и някои недостатъци. Най-основните са високата токсичност на техните пари, голямата окисляемост при съприкосновение с въздуха, повишената агресивност към конструкционните материали при температури над 550°C . При използването им в циркулационните системи се наблюдава не само химическа, но и електрическа корозия. Ето защо награвателните елементи трябва да се изработват от корозиоустойчиви метали.

3. Конструкции топлообменни апарати

Основни изисквания - като се отчитат различните области на приложение, широкият интервал от температури и налягания на работните среди, а също така и разнообразието на свойствата им при различни параметри на топлинна обработка, може да се определят следните основни изисквания, на които трябва да отговарят съвременните топлообменни апарати:

- апаратът трябва да осигурява предаването на необходимото количество топлина от едната работна среда на другата и получаване на необходимите крайни температури при възможно най-голяма интензивност на топлообмена;
- при зададени термодинамични параметри на работните среди (налягания, температури и обеми) и при различни техни агрегатни състояния апаратът трябва да бъде достатъчно надежден при работа;
- апаратът трябва да работи стабилно при изменение на физичните (а е възможно и на химичните) свойства на работната среда - вискозитет, плътност, топлопроводност и др.;
- топлообменната повърхност и другите елементи от конструкцията на апарата, обтичани от работната среда, трябва да бъдат устойчиви на химично въздействие;
- конструкцията на апарата трябва да гарантира продължителна работа, когато процесите протичат в замърсени работни среди и се образуват отлагания върху топлообменната повърхност; конструкцията трябва да дава възможност за периодична проверка и почистване;
- апаратът трябва да има достатъчна здравина, гарантираща безопасното му състояние при напреженията, които възникват както в резултат на наляганията на работните среди, така и вследствие на температурни разширения на различни части на топлообменника;
- при дадена топлинна мощност апаратът трябва да има възможно най-малки габаритни размери, маса и цена;
- апаратът трябва да има рационална конструкция - удобна за изработка, експлоатация и ремонт при максимална стандартизация и унификация на възлите и детайлите

Класификация - поради различните условия, при които работят топлообменните апарати, са създадени разнообразни типове конструкции, чиято класификация се извършва въз основа на определени признаци. Всеки топлообменен апарат в зависимост от разглеждания признак може да бъде класифициран в една или друга група.

Прието е топлообменните апарати да се класифицират по следните основни признаци: начин на пренасяне на топлина, начин на работа в течение на времето, агрегатно състояние на материалните среди, вид на конструкционните материали, начин на поемане на термичните разширения, геометрия на топлообменната повърхност, брой на ходовете и др.

Според начина на пренасяне на топлина топлообменните апарати се разделят на две основни групи: повърхностни и смесителни.

Основният признак на повърхностните топлообменни апарати е наличието на реална повърхност, през която става пренасянето на топлина. **От своя страна повърхностните топлообменни апарати се делят на рекуперативни и регенеративни.**

Рекуперативните топлообменници са най-широко разпространени в химическото, хранително-вкусовото и биотехнологичното производство, поради което те са разгледани в учебника подробно. Обикновено се използват за нагряване и охлаждане на флуидни среди, разделени с непроницаеми стени. При тях се извършва пренасяне на топлина от едната среда през стената в другата среда. Прието е повърхността на разделящата стена да се нарича топлообменна повърхност.

В регенеративните топлообменни апарати топлообменните процеси се извършват при последователно обтичане на повърхността на топлоакмулираща маса, при което единият флуид отдава топлина на топлоакмулиращата маса, а след това акумулираната в нея топлина се отдава по обратен път на другия флуид. Намират по-тясно приложение в енергийните системи.

Смесителните топлообменни апарати осъществяват топлообменни процеси чрез непосредствено смесване на материалните среди. В зависимост от агрегатното им състояние след извършването на топлообменните процеси материалните среди могат отново да се разделят (например газ и течност). При някои от тези топлообменници протичат едновременно топло- и масообменни процеси.

Според начина на работа в течение на времето топлообменните апарати се разделят на апарати с установен режим на работа и апарати с неустановен режим на работа.

Топлообменните апарати с установен режим се характеризират с постоянни във времето параметри (налягане, температура и дебит) на материалните среди.

Неустановени режими на работа има при спиране и пускане, при промени в режимните параметри в съответствие с изискванията на технологичния процес и при отклонения от установените параметри.

Според агрегатното състояние на материалните среди се различават топлообменни апарати, при които материалните среди променят агрегатното си състояние (изпарение, кондензация, кристализация и др.) и топлообменни апарати, при които материалните среди не променят агрегатното си състояние.

Освен това агрегатното състояние и структурата на материалните среди могат да бъдат различни: газ, пара, капкова еднофазна течност, суспензия, зърнест твърд материал и др. В топлообменните апарати се използват различни комбинации, например газ-газ, газ-пара, газ-течност, газ-зърнест твърд материал, пара-течност, течност-течност и др. При апаратите, работещи с повече от две материални среди, комбинациите могат да бъдат например: течност-течност-течност, течност-пара-течност и т.н.

В зависимост от предназначението си топлообменните апарати биват нагреватели и охладители - за извършване на топлообмен без промяна на агрегатното състояние; изпарители, кондензатори, изпарител-кондензатори - за извършване на топлообмен с промяна на агрегатното състояние на чисти вещества.

В зависимост от мястото на топлинния източник се различават апарати с външен и с вътрешен топлинен източник. При повечето от топлообменните апарати само се обменя топлина, която е създадена в самия него, в резултат на преобразуване на различни видове енергия. Топлообменни апарати с вътрешен топлинен източник са например тези с електронагревателен елемент.

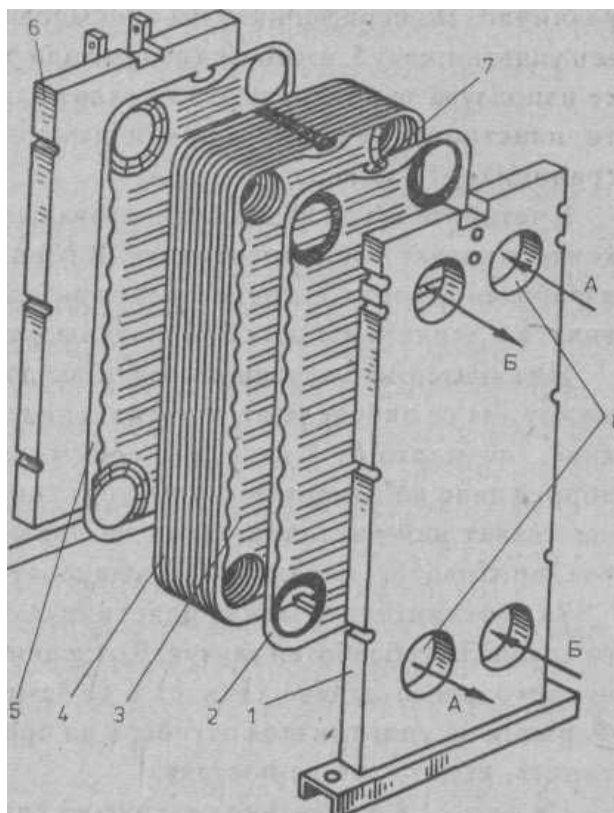
3.1. От метални материали

3.1.1. От метални листи

3.1.1.1. Пластинчати

Пластинчати топлообменни апарати - топлообменната повърхност при пластинчатите апарати се образува от повърхността на отделни пластини, разположени успоредно. Между тях се

образуват канали във формата на процепи, където работните среди се движат в тънък слой. Това спомага за интензифициране на топлообменните процеси.



Фиг.136. Конфигурация на пластинчат топлообменник

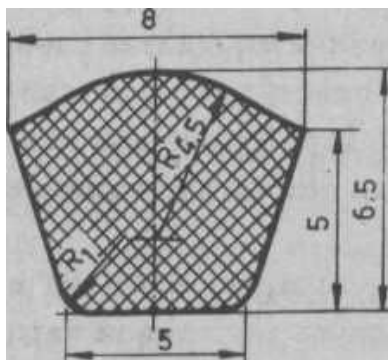
Най-простият пластинчат топлообменник има три плоски пластини с гладки стени, които образуват два канала - в единия тече горещият, а в другия - студеният поток. В промишлените апарати(фиг.136) броят на пластините е голям и работните среди А и Б се движат едновременно през всяка пластина в множество успоредни канали. Формата на пластините и техните профили са разнообразни, а конструкциите им обикновено са сложни. Затова понятието "пластина" за някои конструкции е условно. Плоските пластини са най-прости в конструктивно отношение, но почти не се използват поради ниските си топлотехнически и механични качества. С придаването на сложна форма на профилния лист се цели да се получи силно турбулентно движение при минимална дебелина на граничния ламинарен слой. При топлообменника, показан на фиг.136, пластините 2 са събрани в пакет(поз.4). Успоредните канали 3, изработени във вълнообразните им стени, обуславят турбулентен режим на движение и високи коефициенти на топлопредаване.

Обикновено пластините са от неръждаема стомана X18H10T и 12X18H10T, но може да са направени и от други материали като титанови сплави, легирани стомани и др. Изработват се от един лист чрез пресуване. Профилирането на пластините може да бъде различно. По периферията им е шампован канал, в който е поставен уплътнителят 5, изработен от гума или пластмаса. Когато апаратът се използва за подгриване или охлаждане на хранителни продукти, пластините се полират преди шамповането. Дебелината им е в границите $1 \div 3$ мм.

В четирите ъгъла на всяка пластина са разположени отвори, през които минават топлоносителите. В горната част на пластините е изработен отворът 7, предназначен за окачването им върху стягащ винт, а в долната им част е направен изрез за водене в долния винт. Наредването на пластините в пакет става по определен ред. Разстоянието между тях се определя от уплътнителите и е от 1 до 6мм. Разстояние, по-малко от 3мм, се среща много рядко. Чрез съответно подредване на отворите 8 и на уплътнителите 5 може да се осъществяват най-различни схеми на движение на потоците: правоток, противоток, паралелно, последователно и т.н.

За уплътнители между пластините се употребява преди всичко специално обработен каучук. В отделни случаи каучукът се оказва неподходящ за дадена течност и се заменя с тефлон, олово и др. Формата на уплътнителя отговаря на профила на каналите в пластините, където той се поставя.

На фиг.137 е показано сечение на един от прилаганите видове уплътнители. Посредством плочите 1 и 6(фиг.136) пластините се притискат една към друга. Конструкцията им може да бъде лята или заварена. В отворите им 8 се поставят щуцери за подаване на топлоносителя (в случая означени с А и Б).



Фиг.137. Напречен разрез на уплътнение от гума за пластинчат топлообменник

Притискането се осигурява от два винта или от болтове. При конзолните конструкции е необходима скала, която да показва минималното и максималното разстояние между притискащите плочи. С това се цели да се предотвратят както появяването на хлабини, свързано с пропуски на работна среда, така и прекомерното притягане на пластините, което може да причини повреждането им.

За да се намали прилаганото усилие за притягане на пластините, притягащите пръстени-гайки са снабдени с търкалящи лагери. При по-големите апарати притягането се осъществява по хидравличен път. Хидравличните затягащи съоръжения са преносими и могат да бъдат използвани за обслужване на повече апарати.

В някои пластинчати топлообменници се поставя междинна плоча, чрез която работното пространство може да се раздели на секции. Междинната плоча не е задължителна и представлява заваръчна или лята конструкция, в четирите ъгъла на която могат да се монтират цилиндрични втулки с щуцери. За задоволяване на потребностите от пластинчати топлообменници за химическата, хранително-вкусовата и биотехнологичната промишленост у нас фирмата "Хранмаш" - Стара Загора, произвежда широка гама от тези апарати с повърхност до 500м² и работно налягане до 1,6МРа.

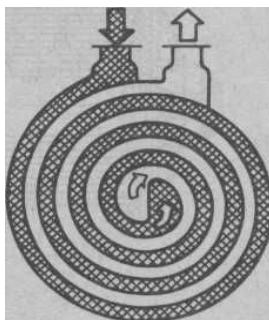
Предимствата на пластинчатите топлообменници са:

- висок коефициент на топлопредаване($4000 \div 5000 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) при поддържане на минимална температурна разлика(от 2 до 5°C);
- компактна конструкция, която осигурява значително по-голяма топлообменна повърхност;
- възможност за промяна на топлообменната повърхност F чрез прибавяне или отнемане на пластини;
- бързо разглобяване и почистване;
- висока степен на унификация на детайлите(до 0,9 докато при други типове е 0,1 ÷ 0,2).

Недостатъците на пластинчатите топлообменници са свързани с това, че може да се използват при максимална работна температура до 150°C и имат относително ниско максимално работно налягане - до 1,6МРа.

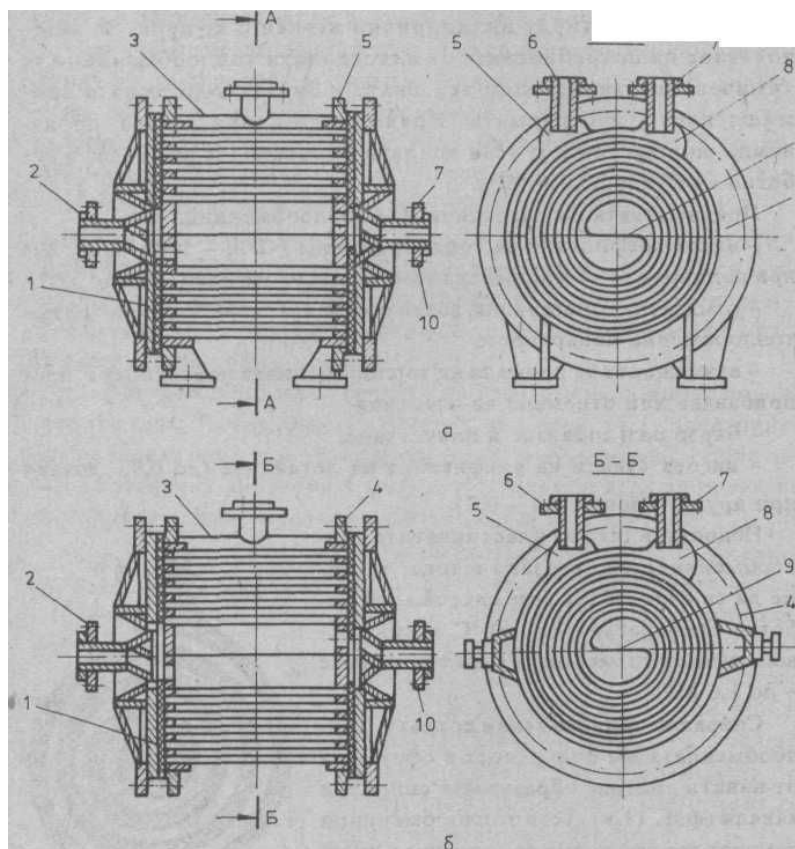
3.1.1.2. Спирални

Спирални топлообменни апарати - топлообменната им повърхност е оформена от навити листове образуващи спирални канали (фиг.138).



Фиг.138. Принципно схема на спирален топлообменник

Тези топлообменници намират все по-голямо приложение в практиката. Използват се като нагреватели и охладители на течности, а също и като изпарители и кондензатори. Те са основен елемент в инсталациите от химическата и хранителна промишленост при обработката на течни продукти. Особено сполучливо с приложението на спиралните топлообменници за загряване и охлаждане на гъсти течности. Тъй като течността се движи в един канал, отпада проблемът за равномерното ѝ разпределение в отделните канали. Използуването на тези апарати за топлообмен между газове е ограничено поради малкото напречно сечение на канала.



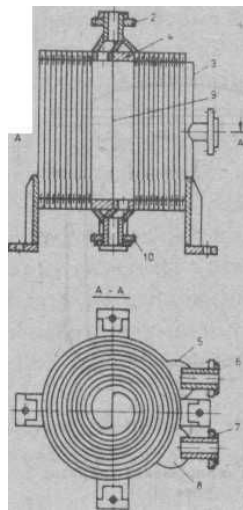
Фиг. 139. Конструкция на спирални топлообменници, работещи в хоризонтално положение
а- със закрепване на крака долу; б- със закрепване на пети отстрани

Спиралните топлообменници (фиг. 139а и б) се състоят от корпус 3, образуван от двата спирално навити канала 5 и 8, изработени от листов материал около централната разпределителна преграда 9. Корпусът е уплътнен в двата края към фланците 4. На капачите са разположени щуцерите 2 и 10 за вход и изход на единия флуид, а на корпуса 3 са поставени щуцерите 6 и 7 за втория флуид.

Спиралните топлообменници за течности могат да работят както в хоризонтално (фиг. 139а и б), така и във вертикално (фиг. 140) положение. Теплообменниците за кондензация на пари се изработват само във вертикално изпълнение. При кондензация на парогазови смеси апаратът има един допълнителен щуцер за обезвъздушаване, но капакът 1 липсва, а щуцерите 2 и 10 са монтирани на специалния фланец - решетка 4 (сравни фиг. 139 и фиг. 140).

Спиралните топлообменници се характеризират със следните предимства. Изработват се от различен листов материал, който може да се поддава на студена обработка и заваряване; компактни са и дават възможност за осъществяване на пълен противоток при движение на потоците; площта на напречното сечение на каналите е постоянна по цялата дължина и потокът няма резки изменения на направлението, което води до по-малко замърсяване на повърхностите, отколкото при други типове апарати. При редица конструкции е възможно лесно почистване на отложенията, което не изисква механично въздействие. Хидравличното съпротивление на спиралните топлообменници при еднаква скорост на потока е по-малко отколкото при други типове.

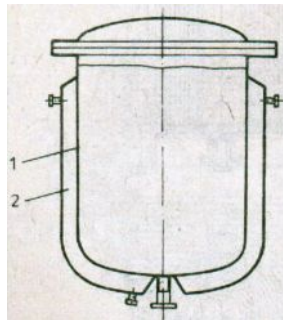
Тези апарати имат и някои недостатъци, които пречат на широкото им разпространение. Ремонтът и почистването им се извършват трудно в някои случаи са дори невъзможни, изработването им и уплътняването на страничните им повърхнини е сложно, допускат ниски работни налягания и сравнително ниски температури.



Фиг.140. Спирален топлообменник във вертикално изпълнение

3.1.1.3. С ризи

Топлообменни апарати с риза от листов материал. Този тип топлообменници(фиг.141) се използват за нагряване или охлаждане на течности в съдове и поддържане на зададен температурен режим.



Фиг.141. Топлообменен апарат с риза

Ризата 2 не е самостоятелен топлообменник, а топлообменен елемент и представлява тази част от съда 1, в която се извършва топлообмен между топлоносителя и нагряваната среда. Топлообменът с риза намира приложение изключително при нагряване с пара, тъй като при работа с течности не може да се достигнат удовлетворителни скорости, а както е известно, скоростта на парата почти не оказва влияние върху интензивността на топлообменния процес. Разстоянието между външната и вътрешната стена в случая няма съществено значение, тъй като топлообменът се извършва чрез кондензация по вътрешната стена. При съдове, предназначени за осъществяване на два или повече процеси, ризата може да се състои от няколко секции, разположени по височина.

Основни предимства на гладкостенната риза са простата конструкция и равномерното нагряване на стените на съда. Но тази конструкция, както вече беше споменато, не е целесъобразна за работа с течности, а се използва при по-ниски работни налягания (до $0,6 \div 0,8 \text{ MPa}$). При по-високи налягания стените стават извънредно дебели.

Ако се налага да се работи с течни топлоносители, необходимо е пространството между вътрешната и външната стена да се оформи като спираловиден канал, което гарантира по-високи скорости на движение на топлоносителя.

За намаляване дебелината на стената на съда и ризата се практикува ризата да бъде изпълнена като заварен спираловиден П-профилен канал, огънат от листов материал с широчина около 200мм и височина на борда не повече от $20 \div 30 \text{ mm}$. По този начин обаче се намалява топлообменната повърхност и се влошават обезвъздушаването и отвеждането на кондензата.

3.1.1.4. Пластинчато-ребрести

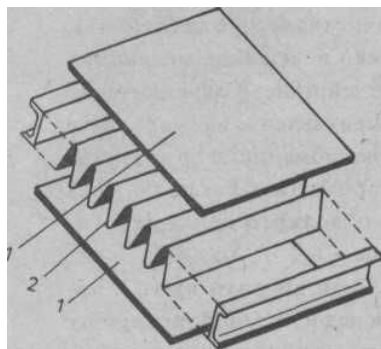
Пластинчато-ребрести топлообменни апарати - този тип апарати са с развита (допълнителна) повърхност. Техният основен елемент(фиг.142) се състои от двете гладки пластини

1, между които е разположена допълнителната нагъната повърхнина 2. Поставени един под друг, такива елементи образуват топлообменната повърхнина на апарата. За да се осигури ефективна работа на допълнителните повърхнини, е необходимо те да имат много добър топлинен контакт с основните пластини. Това се осигурява чрез запояване, заваряване и др.

Допълнителните повърхности имат най-различна форма и са предназначени да увеличат топлообменната повърхност и да турбулизират допълнително потока, с което се повишава интензивността на процеса.

В зависимост от дебитите на работните среди и техните свойства разстоянията между пластините в един и същи пакет могат да бъдат различни. При конструирането на пластинчато-ребрестите топлообменници е необходимо да се осигури равномерно разпределение на потока вътре в пакета и между пакетите. Това се постига чрез многоходови колектори. Най-широко приложение в конструкциите на тези топлообменници намират алуминият и неговите сплави, но се употребяват също така стомана, титан, медни сплави и др.

При използване на високотемпературни припои за запояване на допълнителните повърхнини тези апарати намират приложение във високотемпературни инсталации.



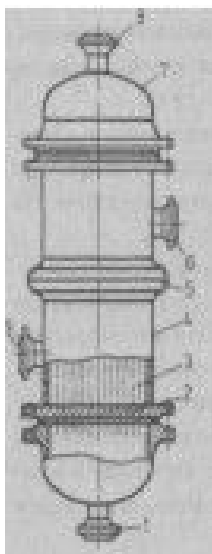
Фиг.142. Пластинчато - ребрест топлообменен апарат

3.1.2. От метални тръби

Топлообменните апарати с метални тръби се делят на кожухотръбни, елементни(секционни), тип "тръба в тръба", тип "потопена спирала" и др.

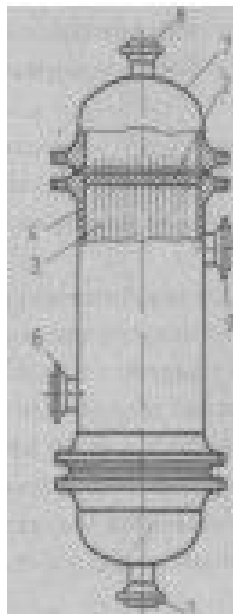
3.1.2.1. Кожухотръбни

Кожухотръбни топлообменни апарати - те са най-разпространени в практиката. Типичен техен представител е показан на фиг.143.



Фиг.143. Едноходов кожухотръбен топлообменник с полутвърда конструкция (с компенсирани на топлинните разширения)

Корпусът 4 обхваща тръбния сноп 3, като завършва с двете успоредни "огледала" 2, в чиито отвори са пъхнати и заварени или развалцувани тръбите 3. Огледалата преминават извън корпуса в стандартни фланци, към които с болтове са прикрепени двете еднакви дъна 7. Дъната са оформени като камери за разпределяне на флуида към тръбния сноп. Щуцерите 8 и 1 са входът и изходът за единия флуид, а 9 и 6 - съответно за втория. Компенсаторът 5, заварен към корпуса 4, компенсира нееднаквите линейни удължения както на корпуса, така и на тръбния сноп. В някои конструкции, където има значителни температурни разлики, между двете дъна се монтират плътни метални пръти, работещи под напрежение на опън. Те се поставят на мястото на една или няколко от тръбите.



Фиг.144. Едноходов кожухотръбен топлообменник с твърда конструкция

На фиг.144 са показани възможни модификации в изпълнението на кожухотръбните топлообменници. Към тръбния сноп могат да бъдат прикрепени междинни прегради за насочване на потока, с което се увеличават скоростите в междутръбното пространство и се интензифицира топлообменът.

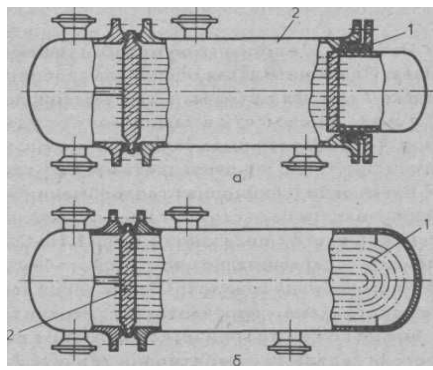
В зависимост от начина, по който се поемат топлинните разширения в тръбния сноп, кожухотръбните топлообменни апарати биват с твърда конструкция, с полутвърда конструкция и с нетвърда конструкция.

Апаратите с полутвърда конструкция са от типа, показан на фиг.143. При тях деформациите вследствие на линейни удължения се предотвратяват с компенсатора 5.

Апаратите с твърда конструкция(фиг.144) нямат компенсатор и се използват при неголеми температурни разлики между корпуса и тръбния сноп. Тяхното основно предимство е простото им устройство. В междутръбното пространство трябва да се избягва подаването на течности, които образуват отложения. Тъй като не е осъществимо механично почистване, отложенията трябва да са разтворими и да е възможно

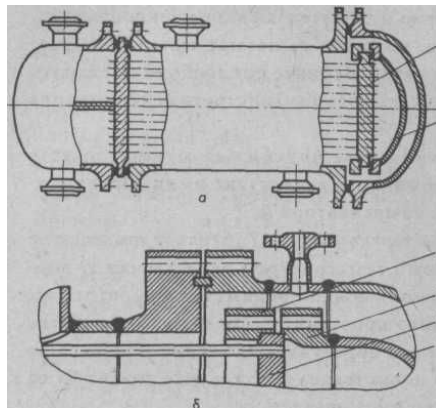
Апаратите с нетвърда конструкция дават възможност за определено независимо преместване между тръбния сноп и корпуса, с което се предотвратяват допълнителни напрежения вследствие на температурни разширения. В тази група се различават апарати със салников компенсатор, с U-образен тръбен сноп, с плаваща глава и др.

Топлообменните апарати със салников компенсатор, монтиран към корпуса (фиг.145а) се използват при ниски налягания и температури в междутръбното пространство. Когато в тръбите се подава течност, която не образува отложения или когато е възможно почистването им по химичен начин, компенсацията от температурните разширения може да се поеме от тръбен сноп с U-образни тръби, закрепени към една неподвижна решетка(фиг.145б). Апаратите с U-образен тръбен сноп имат по-просто устройство от апаратите със салниково уплътнение или с подвижна решетка и са по-сигурни при експлоатация. Кожухът се запълва по-добре с тръби, но при необходимост могат да се подменят само част от крайните тръби на снопа.



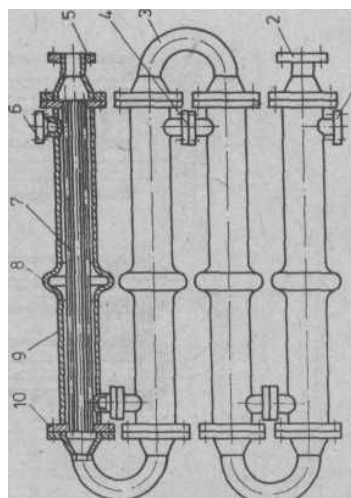
Фиг.145. Кожухотръбни топлообменници с нетвърда конструкция
 а- със салников компенсатор; 1-компенсатор; 2- корпус;
 б- с U-образни тръби; 1- тръбен сноп; 2- неподвижна решетка

На фиг.146 е показан кожухотръбен топлообменен апарат с плаваща глава. Плаващата глава обединява свободната тръбна решетка 2, капака 1 към нея и съответното му фланцово закрепване (фиг.146б) и може да се мести в зависимост от удължението на тръбния сноп. Тези апарати имат големи възможности за компенсиране на удължението, но конструкцията им е по-сложна.



Фиг.146. Двуходов кожухообразен топлообменник – система "плаваща глава"
 а - частични разрези на топлообменника; б - начин на закрепване "плаващата глава"
 1 - капак; 2 - тръбна решетка; 3 - фланец на капака; 4 - свободен фланец (гривна)

Елементни(секционни) топлообменни апарати - тези топлообменни апарати се състоят от последователно съединени елементи(секции), както е показано на фиг.147.



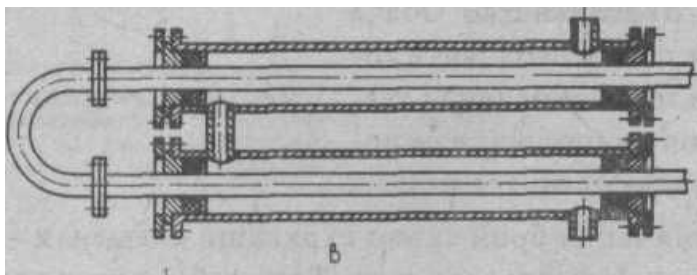
Фиг.147. Елементен(секционен) топлообменник

Съчетанието на няколко елемента със сравнително малък брой тръби съответства по принцип на многоходовия кожухотръбен топлообменник, работещ по най-изгодната схема - противоток.

Елементните топлообменници, подобно на кожухотръбните, се състоят от кожуха 9, в който между двете огледала 10 са монтирани тръбите 7, чийто брой е сравнително по-малък. И тук към корпуса е предвиден компенсатор(поз.8). Колената 3 и фланцовите връзки 4 осигуряват преминаването на потоците от елемент в елемент. Конусните накрайници 5 и 2 са входовете за единия флуид, а щуцерите 6 и 1 - съответно за другия.

Елементните топлообменници са ефективни, в случай че работните течности се движат със съизмерими скорости без изменение на агрегатното състояние. Единият от потоците може да промени агрегатното си състояние. Целесъобразно е тези апарати да се използват и при високи работни налягания. Липсата на прегради намалява хидравличното съпротивление и степента на замърсяване в междутръбното пространство. Обаче в сравнение с многоходовите кожухотръбни топлообменници елементните топлообменници са по-малко компактни и с по-висока цена поради увеличаване брой скъпо струващи елементи - тръбни решетки, фланци, компресори и др. Теплообменната повърхност на една секция е $0,75 \div 30\text{m}^2$ при брой на тръбите от 4 до 40.

Топлообменни апарати тип "тръба в тръба" - тези апарати се използват за обмен на топлина между газове, течности и пари(фиг.148).



Фиг.148. Теплообменници тип "тръба в тръба"

Състоят се от тръба 1, концентрично монтирана във външните тръби 2(които са с 1 до 3 стандартни диаметра по-големи). Външните тръби 2 са свързани помежду си с тръбите 3, осигуряващи преминаването на единия от флуидите в отделните елементи. Тръба 1 служи и за коляно. Този вид топлообменници се предпочитат в случаите, когато обемът на работните среди е малък, а налягането - високо. Изработват се най-често от въглеродна или легирана стомана. Когато температурната разлика между стените на вътрешната и външните тръби не е голяма и не се налага механично почистване на пространството между тях, се използва твърда конструкция, при която двата вида тръби са заварени неподвижно една към друга (фиг.148).

Конструкцията със салниково уплътнение в единия край се използва при значителни разлики в топлинните удължения на вътрешната и външните тръби, а конструкцията със салниково уплътнение в двата края се предпочита, когато е необходим пълен демонтаж на вътрешната тръба по време на експлоатацията. Ако едната работна среда е наситена пара, по правило тя се пропуска в междутръбното пространство. Чрез подбор на диаметрите на вътрешната и външната тръба необходимата скорост и за двете работни среди може да се избере така, че да се постигне максимална производителност на процеса. Теплообменниците тип "тръба в тръба" могат да се изработват и като многосекционни в един или няколко реда. Предимствата им са: висок коефициент на топлопреминаване, възможност за нагряване и охлаждане на среди с високо работно налягане, простота на изработката, монтажа и обслужването.

Недостатъците на топлообменните апарати тип "тръба в тръба" са следните: не са компактни, имат голям разход на метал за външните тръби, които не участвуват в топлообмена, почистването на междутръбното пространство е сложно.

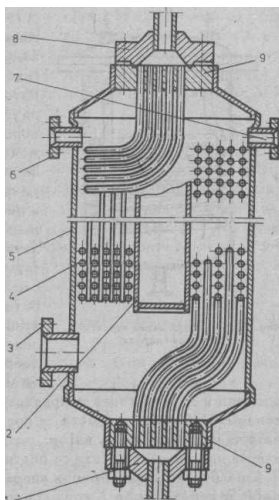
3.1.2.2. Със спирален тръбен сноп

Топлообменни апарати със спирален тръбен сноп – топлообменната повърхност при тези апарати(фиг.149) се комплектува от тръбен сноп, който се състои от концентрично разположените спирално навити тръби 4, затворени в кожуха 5 и закрепени към съответните тръбни решетки 9. Към решетките 9 са присъединени фланците 1 и 8, а към кожуха - щуцерите 3, 6 и 7. За увеличаване на скоростите на флуида между тръбите е вграден заглушеният цилиндър 2.

Тези апарати се използват, когато е необходима значителна площ нагрявна повърхност при голямо налягане и висока температура на едната среда и много малко налягане и ниска температура

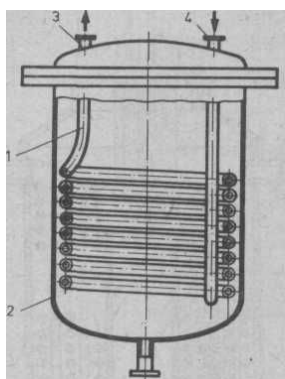
на другата среда, която се движи в тръбния сноп. Такива случаи има в инсталациите за разделяне на газове чрез дълбоко охлаждане, при кондензаторите и нагревателите за високо налягане и др.

Топлообменните апарати със спирален тръбен сноп могат да компенсират деформациите от температурните разширения в широки граници. Те са компактни, с висока ефективност, но имат сложна конструкция и изискват прецизно изпълнение, трудно се поддържат и ремонтират. Изработват се от черни и цветни метали.



Фиг.149. Топлообменен апарат със спирален тръбен сноп

3.1.2.3. С потопена спирала



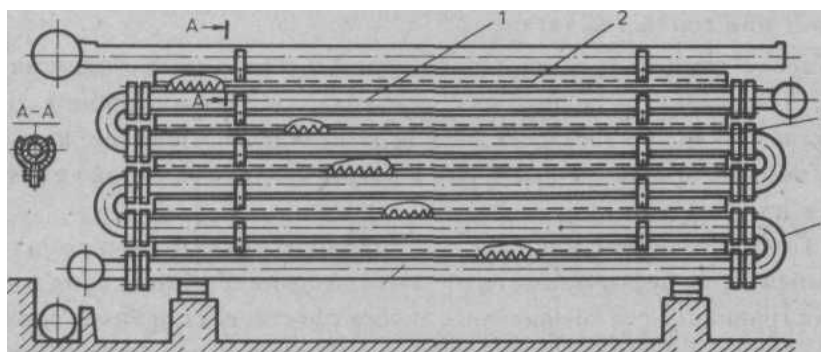
Фиг.150. Топлообменен апарат с "потопена спирала"

Топлообменни апарати с потопена спирала - най-често намират приложение в химическите реактори и имат тръбна(цилиндрична) или плоска спирала, потопена в съд с течна работна среда (фиг.150). Използват се и като порционни мерници. Спиралата 1 се монтира около стените на съда 2 или на дъното му. Вследствие на малката скорост на умиване на течността и ниския коефициент на топлоотдаване от външната страна на спиралата тези топлообменници не са достатъчно ефективни. Приложението им е целесъобразно, когато течната работна среда се изпарява или има механични примеси, а също и при необходимост от използване на топлообменна повърхност от специални материали(олово, керамика, феросилид и др.) за които спиралната форма е най-подходяща. При топлообмен между течности се препоръчва течността в серпентината да се движи отдолу нагоре, т.е.да постъпва през щуцера 4, а да излиза през щуцера 3. Така се постига по-добро обезвъздушаване.

3.1.2.4. Оросители

Оросителни топлообменни апарати - състоят се от хоризонтално разположените тръби 1, които са монтирани в редове, разположени един над друг, и отвън се оросяват с вода(фиг.151). Тръбите се съединяват с фланците 3 посредством колената 4. Тези топлообменници се използват най-често за охлаждане на течности и газове или като кондензатори. Оросяващата вода се подава по улея 2, чиито краища са назъбени. Оросявайки тръбите, водата частично се изпарява. Това води

до подобряване на топлообменния процес и намаляване на общия разход на вода, който е по-нисък отколкото при другите видове топлообменници.



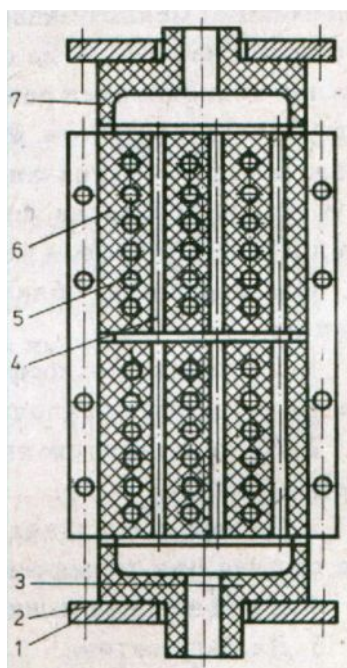
Фиг .151. Оросителен топлообменник

Оросителните топлообменни апарати имат големи размери и се характеризират със сравнително ниска интензивност на топлообмена, но изработването и обслужването им са лесни. Те се използват в случаите, когато е необходима малка производителност. Когато се налага охлаждане на химически агресивни среди или когато топлообменните повърхности трябва да се изработват от специални труднообработваеми материали(например за охлаждане на киселини се изработват апарати от киселиноустойчив феросилид, който се обработва трудно).

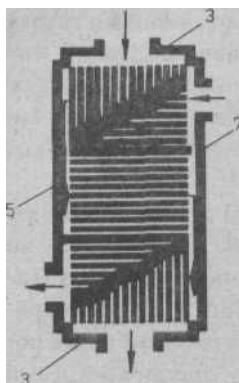
3.2. От неметални материали

В практиката има случаи, когато само някои неметални материали могат да изпълняват високите изисквания за термо- и корозионна устойчивост. Тогава за обработване на топлообменната повърхност на апаратите може да се използва керамика, порцелан, стъкло, емайлни покрития, пластмаси, графит и др. Графичните топлообменни апарати поради особените си качества съставляват отделна група. Високата корозионна устойчивост и значителната топлопроводност правят графита незаменим материал за топлообменни апарати в някои производства. Съвременната промишленост произвежда в голямо количество разнообразни графитни топлообменници: блокови, оросителни, кожухотръбни, потопени и др.

Блоковите графитни топлообменници(фиг.152) се състоят от един или няколко правоъгълни или цилиндрични блока(поз.6), в които има две системи непресичащи се перпендикулярни канали (поз.4 и 5), създаващи кръстосана схема на движение на топлоносителите.



Фиг .152. Схема на графитен топлообменник за силно корозионни среди



Фиг.153. Движение на потоците в графитен топлообменник

Всяка система канали има графитни капацити 3 и 7(фиг.152 и 153) за вкарване или отвеждане на работните среди. Капацитите се притягат чрез металните плочи 1 и шпилките 2, което създава в графита безопасни напрежения на натиск.

Съществуват и кожухотръбни графитни топлообменници, които се състоят от тръби, тръбни решетки и метален кожух със салниково уплътнение за компенсация на топлинните удължения. Тръбите са изработени от тefлон, а тръбните решетки от графит.

4. Топлинна изолация

За да се намалят топлинните загуби по тръбопроводите и по повърхността на топлообменните апарати, се използва топлинна изолация. Тя се прави не само за да се запази топлината, но и за да се осигури желан технологичен режим и да се подобрят санитарно-хигиенните условия на работа. Изискванията по охрана на труда също се спазват при осигуряване на топлинна изолация на съдовете. Допустимата безопасна температура по повърхността на изолирания съд или тръбопровод не бива да надвишава 40°C.

Изолационната обвивка трябва да отговаря на следните изисквания:

- да има малък коефициент на топлопроводност. Поради това за изолатори се предпочитат порести материали с малка плътност;
- да не е хигроскопична, тъй като влагата увеличава топлопроводността;
- да има достатъчна механична здравина и еластичност, за да не се пука при термичните разширения на апарата или тръбата;
- да бъде химически устойчива и пожаробезопасна;
- да бъде евтина.

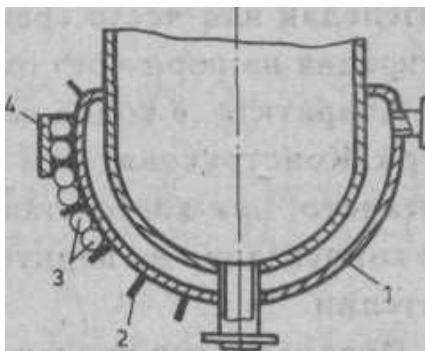
За топлинна изолация намират приложение различни естествени и изкуствени материали: азбест, слюда, дърво, корк, стърготини, пенополиуретан, стъклена и шлакова вата, зонолит, нювелит, пенобетон и др. В хладилната техника за изолация се използват корк и стиропор.

Често при високи температури изолацията е многопластова. Непосредствено до стените на топлообменника се поставя изолатор, който е устойчив на висока температура(например азбест или стъклена вата), а върху него друг по-евтин материал(стърготини или поропласти), след което изолацията се намазва. На фиг.152 е показан начинът на полагане на изолация върху тръбопровод. Изолационният материал 2 (стъклена вата), напълнен в мрежести форми, подобни на дебело въже, се навива около тръбата 11 като непрекъснато се притиска с тел. Върху изолацията се притяга рапицовата мрежа 3, която пази изолацията и същевременно служи за арматура на следващия пласт замазка 4. Замазката се извършва с приготвена смес от цимент, азбестово брашно и вода.

При полагане на изолация върху цилиндрични съдове, реактори и съоръжения, които имат дъна с елипсоидна или друга по-сложна форма, се налага по повърхността на апарата да се заварява арматура(тънки щифтове с определена дължина), която придържа и разделя полаганата изолация(фиг.153). Понякога изолацията се поставя най-добре, като се покрие с платно и се боядиса с блажна боя.

Напоследък при изолиране на апарати и тръбопроводи в химическите заводи се използва алуминиево полирано фолио, което участва в многопластовата изолация като много добър защитник от атмосферни влияния.

Арматурата(вентили, шибъри, клапи и др.) и местата в непосредствена близост до фланци, където има болтови връзки, не се изолират.



Фиг.153. Полагане на изолациявърху дъно със сферична форма
1 — сферично дъно; 2 — щифтове (крепежна арматура)

5. Кондензатори – конструктивни особености

Кондензацията намира широко приложение в химическите производства. Това е процес, при който се извършва втечняване на пари и газове чрез охлаждане, чрез компримиране или едновременно чрез охлаждане и компримиране. Получената течност се нарича кондензат. Апаратите, в които се втечняват парите, се наричат кондензатори. Конструкцията им зависи от начина на охлаждането и от налягането, при което става втечняването. В зависимост от начина на кондензация на парите кондензаторите са повърхностни и смесителни.

5.1. Повърхностни кондензатори

Повърхностни кондензатори - при повърхностните кондензатори топлообменът между кондензиращите пари и охлаждащия агент -водата, се извършва през стена. Кондензатът в този случай има същия състав както кондензиращите се пари, понеже охлажданото вещество и охлаждащият агент не се смесват. Този начин на кондензация се прилага, когато е необходимо да се получи чиста течност(чист алкохол, етер, бензол и др.). която да може да се използва отново в производството. В този случай охлаждащият агент също напуска кондензатора чист и може да се използва след това за други промишлени цели.

Видове повърхностни кондензатори - повърхностните кондензатори представляват обикновени топлообменници - кожухотръбни, елементен тип, "змиевик", "тръба в тръба" или с тръбна камера. И тук видът на кондензатора зависи много от големината на охлаждащата (топлообменната) повърхнина. Първият тип кондензатори се използва при голяма охлаждаща повърхнина, вторият - при средна, а третият и четвъртият - при по-малки повърхнини.

В зависимост от предназначението си повърхностните кондензатори са обратни и прави.

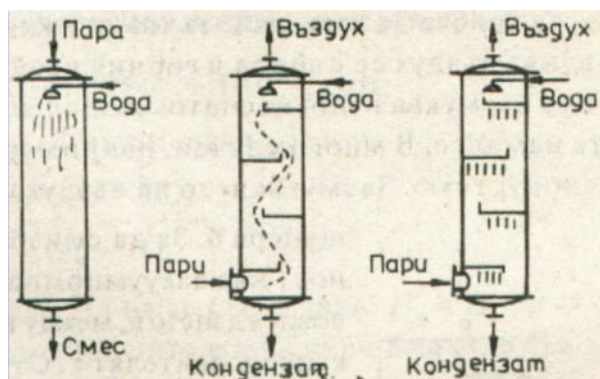
Обратен кондензатор е този, който е монтиран върху съда, създаващ парите така, че кондензираната течност(кондензатът) свободно се връща в него и се смесва с течността, а прав кондензатор е този, който е монтиран така, че полученият кондензат се отстранява от системата и обикновено се събира в сборник, представляващ част от изпарителната инсталация.

5.2. Смесителни кондензатори

В този тип кондензатори кондензацията на парите се осъществява при непосредствен контакт (смесване) между парите и охлаждащия флуид(обикновено вода), които се смесват в херметично затворено пространство. При тези условия парите отдават топлината си на водата и кондензират.

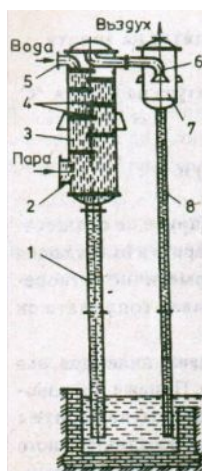
Видове - смесителните кондензатори представляват цилиндри, във вътрешността на които се извършва смесването. Понеже производителността им зависи много от начина на смесването на парите с водата, вътрешното им устройство има голямо значение. Според вътрешното си устройство кондензаторите са: **кухи**(фиг.154а) - във вътрешността им има само душ или дюзи за впръскването на водата в парите, **с прегради**(фиг.154б) - във вътрешността им има прегради, по

които водата се стича на тънък слой като образува водна завеса, и **тарелкови**(фиг.154в) - в тях са поставени дискове с отвори, през които водата се стича на фини капки в правоток на издигащите се пари.



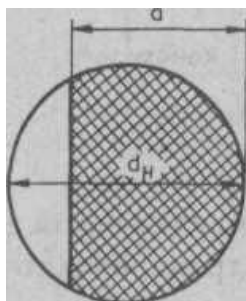
Фиг.154. Смесителни кондензатори

В зависимост от взаимното направление на парите и течността смесителните кондензатори са правотокови(фиг.154а) и противотокови(фиг.154б и в). При правотоковите водата и парите постъпват в кондензатора от една и съща страна, обикновено от горния край и се отвеждат от долния. При противотоковите течността се подава в горния край на кондензатора, а парите - в долния. Изваждането на течната смес(вода-кондензат) и некондензираните газове(въздух) обикновено става с помпи.



Фиг.155. Барометричен смесителен кондензатор

На фиг.155 е показан барометричен смесителен кондензатор. Състои се от цилиндъра 3, барометричната тръба 1 и капкоуловителя 7. Диаметърът на цилиндъра зависи от количеството на парите, които трябва да кондензират, и варира от 0,1 до 2м, а височината му е от 0,8 до 2,5м. Във вътрешността на цилиндъра са разположени тарелките 4 - до 8 на брой, които представляват перфорирани дискове с праг откъм изрязаната стена(фиг.156). Охлаждащата вода постъпва в кондензатора през тръбата 5 и се стича на капчици или струйки от тарелка на тарелка. Парите влизат през щуцера 2, издигат се нагоре, смесват се с водата, охлаждат се и кондензират. Сместа от охлаждащата вода и кондензата се стича по самотек през барометричната тръба. За да бъде кондензатът затворен, край на тръбата трябва да бъде потопен във вода, а за да може стичащата се по нея смес да преодолява външното(барометричното) налягане, тя трябва да има достатъчна дължина - 10 - 11м. Некондензираният въздух се събира в горния край на кондензатора. Ако той не се изсмуква непрекъснато, създаденият в кондензатора вакуум ще намалее. В много случаи, например при изпаряването, това е недопустимо. Засмукването на въздуха става с вакуумпомпа през щуцера 6. За да се избегне проникването на течност във вакуумпомпата, което може да причини повреждането ѝ, между нея и кондензатора е поставен капкоуловителят 7. Отделните капки се стичат по тръбата 8. Освен за кондензация на пари барометричният кондензатор се използва още за създаване на вакуум при вакуумфилтруване, сушене, изпарение и дестилация



Фиг.156. Тарелка за барометричен кондензатор

6. Изпарители

Изпаряването е топлинен процес, при който се отделя разтворител (напълно или частично) и с това се постига концентриране на разтвори или смеси. Когато се концентрират разтвори на соли, обикновено процесът изпаряване се съчетава и с кристализация. Изпаряването се осъществява благодарение на погълнатата топлина. Преминването на едното вещество (разтворителя от дадена система) в състояние на пара може да стане при налягане, по-ниско от външното налягане или равно на външното. В първия случай разтворът не кипи и се говори за изпарение или излъхване, а във втория разтворът кипи и процесът се дефинира като изпаряване.

Изпарение - това е бавен процес. Като типичен пример за него може да се посочи изпарението на морската вода в солниците при слънчево нагриване. Прилага се съвсем ограничено в промишлени условия - при охлаждане на вода в охладителни кули, където се създава голяма изпарителна повърхнина от дървени или пластмасови пълнежи. Обратните води на дадено производство, използвани за охлаждане, се разпръскват на фини капки, като се подават в горната част на кулата и се разбиват в пълнежа ѝ. Част от водата се изпарява (около 6 - 8%) и за сметка на отнетата топлина останалата част на обратната вода се охлажда. При това изпарение през пълнежа на охладителните кули се създава естествена или изкуствена вентилация. Така отдолу-нагоре преминава атмосферен въздух, който частично се насища с водни пари.

Изпаряване - в химическите, хранително-вкусовите и биотехнологичните производства широко се прилага изпаряване, провеждано при атмосферно налягане, свръхналягане и най-често под вакуум.

Изпаряването при атмосферно налягане е най-старият и примитивен метод, за чието осъществяване може да се използва всеки съд със или без бъркачки, който има подходяща нагривна повърхнина. Нагриването може да става с пара или друг топлоносител. Получените пари се изпускат директно в атмосферата, като се извеждат извън помещенията. Методът е скъп и затова има ограничено приложение.

Изпаряването под вакуум се прилага за първи път още през 1912г. при изпаряване на захарни разтвори. Оттогава досега методът и съоръженията непрекъснато се усъвършенстват. Известно е, че температурата на кипене на една течност зависи от външното налягане. Колкото външното налягане е по-малко, толкова по-ниска е и температурата на кипене на течността. За някои течности тази зависимост е дадена в табличен вид в химическите и топлотехническите справочници.

Предимствата на вакуумизпаряването са следните:

- могат да се обработват разтвори при $t < 100^{\circ}\text{C}$, с което се избягва опасността от разлагането им и от загубването на потребителските им качества;
- могат да се използват топлоносители с по-ниска температура;
- загубите на топлина в околното пространство са по-малки;
- процесът е икономичен при използване на многокорпусни инсталации.

Прието е при вакуумизпарителите нагриващата пара да се нарича първична, а парата, получена от нагриването - вторична или сокова пара.

Основните елементи в инсталациите за изпаряване под вакуум са изпарителните апарати, устройствата за създаване на вакуум и кондензаторите.

6.1. Конструкции изпарители

Според принципа на работа те се делят на **периодично и непрекъснато действащи**.

- **периодично действащите изпарители** са снабдени с бъркачки. Разтворът се зарежда периодично в тях и се отвежда от системата при достигане на желаната крайна

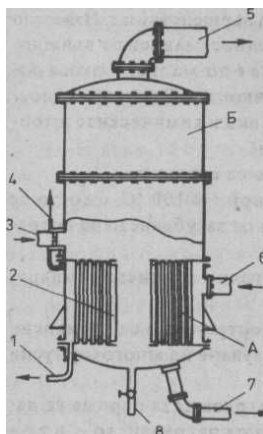
концентрация за определено време. Бъркачката спомага за изравняване на температурата и предотвратяване на прегаряния;

- **непрекъснато действащите изпарители** са най-разпространени в практиката, работят ефективно и обикновено имат тръбна нагревна камера и сепарационно пространство', където става отделянето на вторичната пара от пяната и увлечените капки от разтвора в процеса на кипенето. Тръбната нагревна камера на изпарителните апарати може да бъде вградена или изнесена, а освен това хоризонтална или вертикална.

6.2. Тръбни изпарители

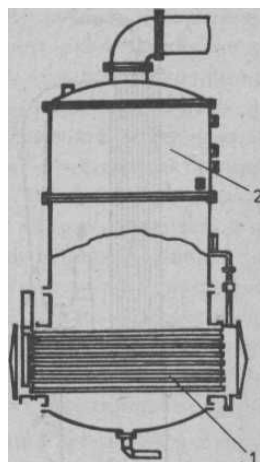
6.2.1. С вградена нагревна камера

Тръбни изпарители с вградена нагревна камера - на фиг.157 е показан вертикален изпарителен апарат с вертикална вградена нагревна камера система "Роберт", която има тръбен сноп и циркуляционна тръба. Тръбният сноп А е разположен вертикално в долната част на апарата и се захранва с пара през щуцера 6. Кондензатът се отвежда през щуцера 1. Щуцерът 4 е предназначен за обезвъздушаване(периодично) на междутръбното пространство. Разтворът за концентриране постъпва през щуцера 3, а напуска апарата през щуцера 7. Щуцерът 8 е дренажен и се използва при промиване на тръбното пространство. В сепарационната камера Б се отделят парите от кипящата течност, които пълзят нагоре по тръбите. Връщането на кипящата течност надолу става по централната тръба 8. Парите напускат изпарителя през щуцера 5, където се създава и вакуумът.



Фиг.157. Изпарителен апарат с централна циркуляционна тръба система "Роберт"

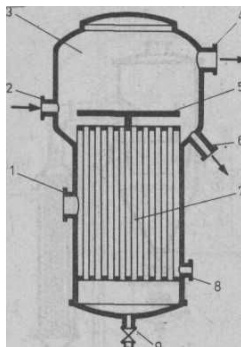
На фиг.158 е показан подобен изпарителен апарат, който се различава от описания по това, че в долното изпарително пространство 1 е поместен хоризонталният тръбен сноп 1. Пространството 2 на този апарат е сепарационно.



Фиг.158. Изпарителен апарат с хоризонтална тръбна нагревна камера

На фиг.159 е представен вакуумизпарителен апарат с вградена тръбна нагревна камера и монолитен тръбен сноп без циркуляционна тръба. Над тръбния сноп 7 е поставен отражателният диск 5, което спомага за по-добро сепариране на парите в сепарационното пространство 3.

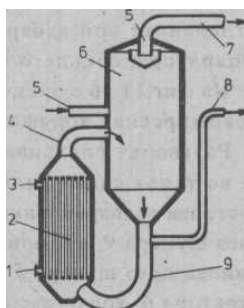
Разтворът, който ще се изпарява, постъпва в апарата през щуцера 2, а след концентрацията напуска системата през щуцера 6. Вторичните пари излизат през щуцера 4, а щуцерът 9 е дренажен. Първичната пара постъпва през щуцера 1, а кондензатът се отвежда през щуцера 8.



Фиг.159. Изпарителен апарат с монолитна тръбна нагревна камера с отражателен диск (отбойник)

6.2.2. С изнесена нагревна камера

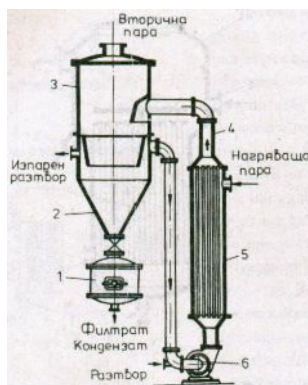
Тръбни изпарители с изнесена нагревна камера - схема на техния представител е показана на фиг.160.



Фиг.160. Изпарителен апарат с изнесена нагревна камера

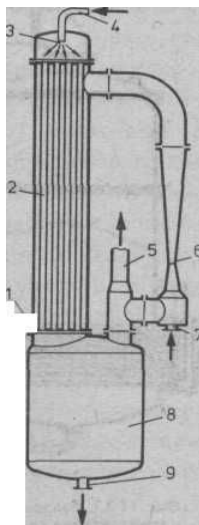
Състои се от тръбната нагревна камера 2 с щуцерите за пара 3 и изхода за кондензат 1. Камерата е свързана със сепарационния корпус 6 посредством тръбите 4 и 9. Парите се отвеждат през щуцера 7. Разтворът постъпва за изпаряване през щуцера 5, а кондензираният се отвежда по тръбата 8. За интензифициране на топлообмена и създаване на големи обеми се използват апарати с принудителна циркулация. В тях разтворът се движи чрез специални помпи, които се намират в самия апарат или вън от него.

На фиг.161 е показан такъв апарат за изпаряване на кристализиращи разтвори. Течността се привежда с изнесена нагревна камера в принудителна циркулация чрез помпата 6, като се движи в нагрятата камера 5 и тръбата 4 отдолу нагоре. При такова движение разтворът се намира в тях под налягане и започва да кипи едва когато дойде в сепаратора 3, чийто долен край 2 служи за утаител. Отделените при изпаряването кристали се отлагат на дъното на сепаратора, откъдето постъпват за филтруване в апарата 1.



Фиг.161. Изпарителен апарат с изнесена нагревна камера и принудителна циркулация на разтвора

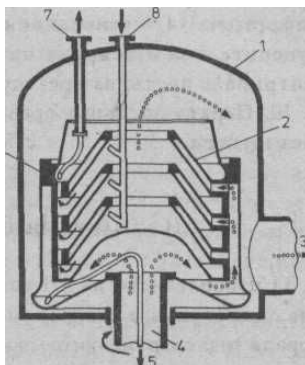
На фиг.162 е представен тръбен тънкостенен изпарител с термокомпресия(модификация на термопомпа с ежектор). Разтворът постъпва през разпределителната дюза 3, преминава на тънък слой(филм) по тръбния изпарител 2 отгоре надолу и постъпва в сепарационната камера 8. Концентрираният разтвор излиза през щуцера 9, а вторичните пари се разделят на две - част от тях минава през щуцера 5 към вакуумкондензатор, а друга отива към ежектора 6, който изсмуква и компримира вторичната пара с постъпваща през щуцера 7 първична пара и ги въвежда в междутръбното пространство на тръбния топлообменник 2. Кондензатът се отвежда през щуцера 1.



Фиг.162. Изпарителен апарат с термокомпресия

6.3. Центробежни изпарители

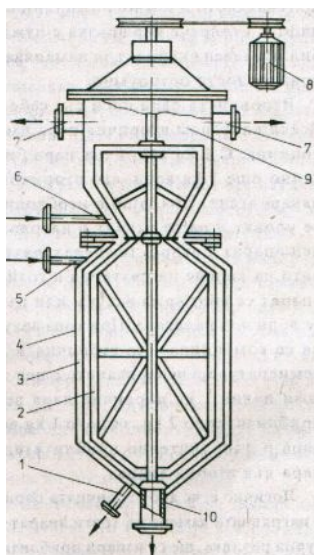
Центробежни изпарители - за изпарение и концентриране на разтвори в биотехнологичните производства приложение намират **центробежните изпарители система "Центритерм"** на шведската фирма "Де Лавал". На фиг.163 е показана схемата на този изпарител.



Фиг.163. Центробежен изпарителен апарат система "центритерм"

В неподвижния корпус 1 се въртят кухите конусни тарелки 2, подгривани от пара, постъпваща през щуцера 4. Кондензатът на тази първична пара се отвежда по тръбата 5. Разтворът за концентриране се подава по тръбата 8. Чрез дюзи той се впръсква на фини капки отдолу и отгоре към конусите 2, изпарява се разтворител; който през щуцера 3 се отвежда към вакуумкондензатор. Концентрираният разтвор се насочва към периферията (стените) на въртящия се барабан 6, който е изработен заедно с тарелките 2, и се отвежда навън през тръбата 7.

Роторни изпарители - за концентриране на лепнещи разтвори и на разтвори с голям вискозитет се прилага роторният изпарител, патент на фирмата "Лува" - Швейцария (фиг.164). В корпуса 4 е оформена нагревната камера 3, чийто вътрешен диаметър е цилиндър с гладка стена. Стената на цилиндъра се остъргва от ротора 2, задвижван от електродвигателя 8. Горната част на апарата 9 е оформена като сепарационна камера, на която са разположени щуцерите 7 за отвеждане на вторичните пари. Разтворът за концентриране постъпва през щуцера 6, а напуска апарата през щуцера 10. Парата постъпва през щуцера 5, а кондензатът се отвежда чрез щуцера 1.



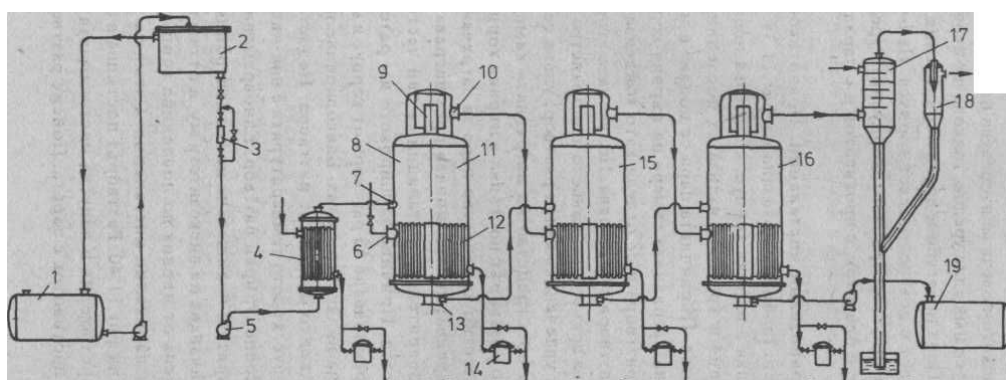
Фиг.164. Ротационен изпарителен апарат на фирмата “Лува” (Швейцария)

6.4. Вакуумизпарителни инсталации

6.4.1. Правотокови

Правотокови изпарителни инсталации - правокова трикорпусна изпарителна инсталация е показана на фиг.165. Изпаряваният разтвор постъпва в първия корпус, след това последователно минава през втория и третия и излиза от последния корпус с исканата концентрация. Първичната пара се подава в междутръбното пространство на нагревната камера на първия корпус, отдава топлината си на разтвора и се отделя като кондензат. В резултат на това част от разтвора се изпарява. Получената вторична пара в първия апарат минава през сепарационното пространство на апарата, очисти се от пяна и увлечените капки разтвор, улавя се и се вкарва в междутръбното пространство на нагревната камера на втория корпус и т.н. Ако разтворът постъпва в първия корпус студен, ще е необходимо известно количество пара за загряването му до кипене. Затова той предварително минава през нагревателя 4.

Правотоковите изпарителни инсталации са най-често използвани в промишлеността. Причина за широкото им разпространение е самотечното преминаване на разтвора от корпус в корпус под действието на пада на налягането в тях. Благодарение на това няма нужда от помпи, които да движат разтвора. Недостатъкът им е, че в последния корпус, където температурата е най-ниска, трябва да се изпарява най-концентриран разтвор. Едновременното понижаване на температурата и повишаване на концентрацията на разтвора води към увеличаване на вискозитета му, а оттам и към влошаване на топлообмена от първия до последния корпус.

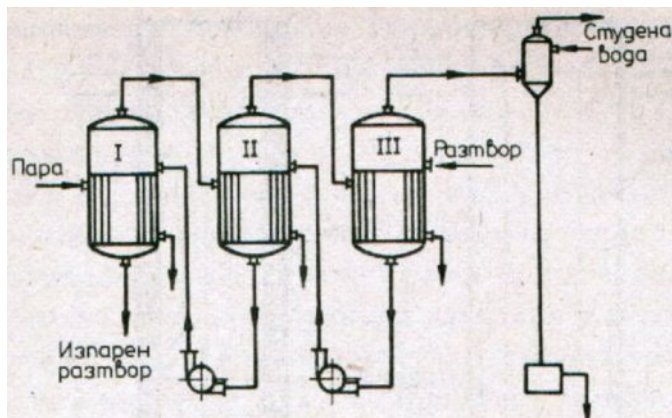


Фиг.165. Схема на трикорпусна правокова вакуумизпарителна инсталации

1 - резервоар на изпаряемия разтвор; 2 - напорен съд; 3 - дебитомер, 4 - подгревател на разтвора; 5 - центробежна помпа, 6 - щуцер за първичната пара; 7 - щуцер за подаване на изпарявания разтвор; 8, 15 и 16 - изпарителни апарати; 9 - капкоуловител; 10 - щуцер за отвеждане на вторичната пара; 11 - парно пространство; 12 - нагревна камера; 13 - щуцер за отвеждане на изпарения разтвор; 14 - кондензно гърне; 17 - барометричен кондензатор; 18 - капкоуловител; 19 – резервоар

6.4.2. Противотокови

Противотокови изпарителни инсталации - схема на такава инсталация е показана на фиг.166. Разтворът постъпва в последния корпус III, минава през втория и напуска инсталацията през първия, като се движи в противоток с парата. Понеже разтворът трябва да постъпва от корпуси с по-ниско налягане в корпуси с по-високо налягане, налага се между корпусите да се поставят помпи, които да го движат. Това усложнява инсталацията, затруднява регулирането на движението на разтвора и е съпроводено с допълнителен разход на енергия.

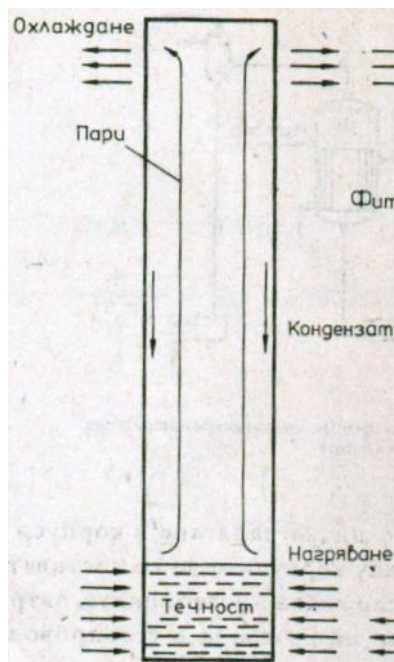


Фиг.166 Схема на трикорпусна противотокова вакуумизпарителна инсталация

7. Топлинни апарати с топлинни тръби

7.1. Термосифони

Термосифони - за да се разбере какво представлява топлинната тръба, необходимо е да се припомним, че при дадено налягане температурата на кипене на дадена течност е еднаква с температурата на кондензация на парите ѝ. Тази температура зависи единствено от налягането и е точно определена. Устройството, показано на фиг.167, е най-простата топлинна тръба, наречена още термосифон.



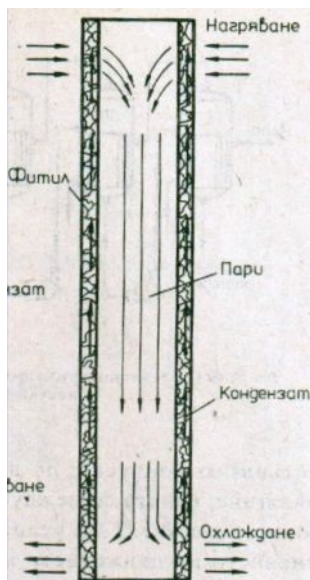
Фиг.167. Термосифон

Термосифонът представлява вертикална затворена тръба, вътрешното пространство на която е запълнено с течност и пари на едно и също вещество - топлоносител (например вода). Ако се загрява долната част на тръбата, а се охлажда горната, ще се получи следният цикъл: течността ще започне да кипи и парата ще се придвижи нагоре. В резултат на охлаждането тя ще кондензира

върху вътрешната стена на горната част на тръбата и капки от кондензата ще се стекат обратно в долната част. Този цикъл ще продължава, докато долната част на тръбата се загрева, а горната се охлажда. Тъй като навсякъде в тръбата налягането е еднакво, температурата също ще бъде еднаква независимо от това, колко дълга е тръбата и какъв е нейният диаметър. Тези обяснения показват, че устройството има свойството свръхпроводност, защото ако то се замени с един прът от сребро, мед или алуминий(метали с голяма топлопроводност), при пренасяне на топлина винаги между двата края ще се появи температурна разлика. Температурата на парите в тръбата се променя, ако се промени налягането. По този начин може да се влияе върху свойството управляемост. Ако се разменят местата на загреването и охлаждането т.е., ако се охлажда долната част, а се загрева горната, в тръбата не може да се реализира изпарително - кондензационен цикъл, който да пренася топлинния поток и устройството ще изключи. В този случай се наблюдава свойството еднопосочна топлопроводност, известно още като диоден ефект. Разгледаните свойства показват, че термосифоните се различават значително от известните теплообменни устройства.

7.2. Топлинни тръби

Топлинни тръби - в много случаи за движението на кондензата не може да се използват гравитационните сили и термосифоните са неприложими. Например, когато се налага изпарителният участък да се разположи на едно ниво с кондензационния участък или да бъде над него или когато устройството трябва да работи в космоса. В такива случаи за връщане на кондензата е необходимо да се използват капилярни сили. За целта от вътрешната страна на тръбата се разполага допълнителен елемент, наречен фитил.

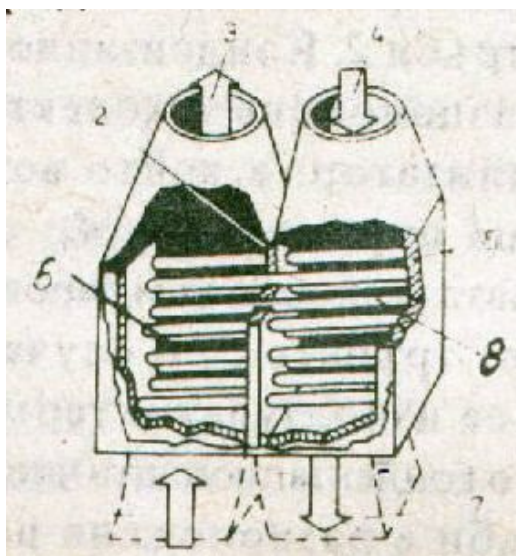


Фиг.168. Топлинна тръба

Такова устройство е показано на фиг.168 и се нарича топлинна тръба. Фитилът се изпълнява от специални порести материали(например металокерамика, капилярни канали нарязани в стената на тръбата, фина мрежа и др.). В зависимост от температурния интервал, при който ще работи тръбата, се използват различни топлоносители: хелий и азот за криогенни температури(-150 до -50°C); спирт, фреони и др. - за ниски температури(-50 до 10°C); вода - за нормални температури (50 до 250 °C); разтопена сяра, живак и др. - за средно високи температури(200 до 500°C); калий, натрий, литий и др. - за високи температури(500 до 1500°C). В съответствие с температурните интервали на приложение се подбират и материалите за корпуса на тръбата и фитилната структура. Най-често за изработване на топлинни тръби се използват метали, но в отделни случаи те могат да се заменят с неметали(например керамика).

Изключително широкият температурен интервал на приложение и специфичните качества на топлинните тръби ги правят незаменими в редица случаи като самостоятелни теплопреносими елементи в теплообменни апарати с най-различно предназначение.

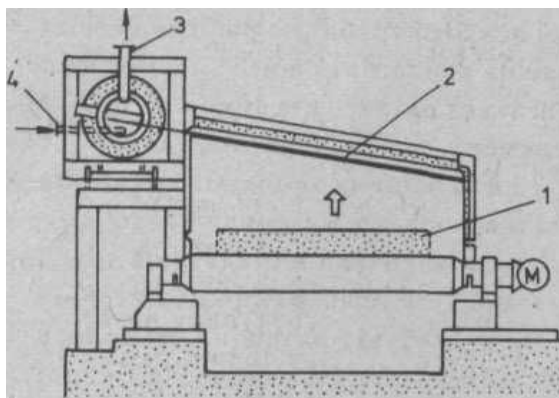
Разгледани са и няколко случая на приложение на топлинните тръби, типични и за химичните производства.



Фиг.169. Теплообменник с топлинни тръби “газ - газ”

1 – вход на горещите газове; 2 – тръбна дъска; 3 – изход на горещите газове; 4 – вход на студени газове; 5 – кожух; 6 – изпарителна част на топлинните тръби; 7 – изходящ канал за студени газове; 8 – кондензационна част на топлинните тръби

На фиг.169 е показан теплообменник за използване на топлината от изходящи газове с висока температура. През канала 1 постъпват горещи димни газове и загряват изпарителната част на топлинните тръби 6, след което през канала 3 се изхвърлят в атмосферата. Студеният газ, необходим за технологичния процес, постъпва през канала 4, загрява се, като отнема топлина от кондензационната част на топлинните тръби 8 и напуска през канала 7. Двете работни пространства на теплообменника са оформени от кожуха 5 и са разделени с тръбната дъска 2.



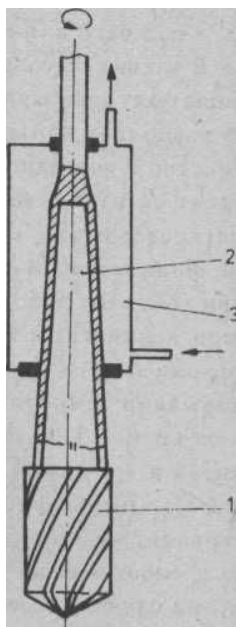
Фиг.170. Система за оползотворяване на отпадна топлина

1 - топлинни тръби; 2 - отливки; 3 - вода за захранване на котел-утилизатора; 4 - пара

На фиг.170 е представена система за оползотворяване на топлина при транспортиране на горещи отливки. Излъчената от отливките 1 топлина се възприема от изпарителната част на топлинните тръби 2. Кондензационната им част е разположена в колектора на котел-утилизатор, в който водата, постъпваща през тръбата 4, се изпарява, а парата се подава към паровата магистрала през тръбата 3. В случая е възможно да се използват и термосифони, тъй като кондензационната част на топлинните тръби е разположена над изпарителната.

Много често топлинните тръби намират приложение за охлаждане на отделни елементи на различни машини и устройства.

Такъв пример е показан на фиг.171, където топлинната тръба е съвместена със свредло. Топлината, получена при свредловането, се възприема от режещата част на свредлото 1 и чрез топлопроводност се предава на изпарителната част на топлинната тръба 2. Парите на топлоносителя, получени в изпарителната част, кондензират в горната част на топлинната тръба 2. За извеждането на топлинния поток се използва теплообменникът 3.



Фиг.171. Охлаждаемо свредло

При сравнение топлообменниците с топлинни тръби се оказват със значителни предимства пред другите типове топлообменници (табл.1)

ТАБЛИЦА 1

Показатели	Топлообменници		
	Кожухотръбни	Пластинчати	Топлинни тръби
Ефективност	40 - 80%	40 - 75%	40 - 80%
Разглобяемост	лоша	задоволителн	Добра
Почистване	задоволителво	Задоволителна	Добро
Компактност	лоша	Добра	добра
Материалоемкост	голяма	малка	малка

Топлинните тръби имат и някои недостатъци: например те са по-сложни за изработване, поради което при еднакви други условия са и по-скъпи; изискват по-прецизна изработка и др.

