

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра технічної теплофізики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Холодильні машини і установки»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
на тему «Мобільний абсорбційний холодильник,
що працює на альтернативному виді палива»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

М. Г. Прокопов

Здобувач

А. І. Шеліхова

Суми 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАВДАННЯ ДО ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
РОЗРАХУВАТИ І СПРОЄКТУВАТИ
АБСОРБЦІЙНИЙ ХОЛОДИЛЬНИК

Вихідні дані:

- холодопродуктивність $Q_0 = 400$ кВт;
- температура охолоджуваного приміщення $t_{on} = -25^\circ\text{C}$;
- температура розсолу на вході у випарник $t_{p1} = -28^\circ\text{C}$;
- температура розсолу на виході із випарника $t_{p2} = -26^\circ\text{C}$;
- температура охолоджуваної води на вході в конденсатор $t_{в1} = 12^\circ\text{C}$;
- тиск гріючого пару $p_{гр.п.} = 0,35$ МПа;
- кількість дистилляту $G_d = 0,347$ кг/с;
- масова частка аміаку у вихідній суміші $a_f = 0,35$;
- масова частка аміаку в дистилляті $a_d = 0,92$;
- масова частка аміаку в кубовому залишку $a_w = 0,16$.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЦИКЛУ	18
2. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ГЕНЕРАТОРА.....	28
3. РОЗРАХУНОК ВИПАРНИКА	40
4. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРАКТУ ПОДАЧІ ВИХІДНОЇ СУМІШІ В ГЕНЕРАТОР	46
ВИСНОВКИ	55
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ	57
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	61
Додаток А	62
Додаток Б.....	63
Додаток В.....	64
Додаток Г	65

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Шеліхова</i>			<i>Розрахунок холодильної абсорбційної машини</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Прокопов</i>					3	65
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ Х.м.-11</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Ванеєв</i>						

ВСТУП

Холодильні машини та установки призначені для штучного зниження та підтримки зниженої температури нижче температури навколишнього середовища від 10 °С до -153 °С в заданому охолоджуваному об'єкті.

Машини та установки для створення нижчих температур називаються криогенними. Відведення та перенесення теплоти здійснюється за рахунок споживаної при цьому енергії. Холодильна установка виконується за проектом залежно від проектного завдання, що визначає охолоджуваний об'єкт, необхідного інтервалу температур охолодження, джерел енергії і видів охолоджуючого середовища (рідке або газоподібне).

Холодильна установка може складатися з однієї або декількох холодильних машин, укомплектованих допоміжним обладнанням: системою енерго- та водопостачання, контрольно-вимірювальними приладами, приладами регулювання та керування, а також системою теплообміну з об'єктом, що охолоджується. Холодильна установка може бути встановлена у приміщенні, на відкритому повітрі, на транспорті та в різних пристроях, у яких треба підтримувати задану знижену температуру та видаляти зайву вологу повітря.

Система теплообміну з об'єктом, що охолоджується, може бути з безпосереднім охолодженням холодильним агентом, по замкнутій системі, по розімкнутій, як при охолодженні сухим льодом, або повітрям в повітряній холодильній машині. Замкнута система також може бути з проміжним холодоагентом, який переносить холод від холодильної установки до об'єкта, що охолоджується.

Початком розвитку холодильного машинобудування в широких розмірах можна вважати створення Карлом Лінде в 1874 першої аміачної паро-компресорної холодильної машини. З того часу з'явилося багато різновидів холодильних машин, які можна згрупувати за принципом роботи наступним чином:

- паро-компресійні, спрощено звані компресорні, зазвичай з електроприводом;
- тепловикористовуючі холодильні машини: абсорбційні холодильні машини та пароежекторні;
- повітряно-розширювальні, які при температурі нижче -90 °С економічніші за компресорні;
- термоелектричні, які вбудовуються в прилади.

Кожен різновид холодильних установок і машин має свої особливості, за якими вибирається їх сфера застосування. В даний час холодильні машини

										<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>					4

та установки застосовуються в багатьох галузях народного господарства та в побуті.

Термодинамічні цикли холодильних установок

Перенесення теплоти від менш нагрітого до більш нагрітого джерела стає можливим у разі організації будь-якого компенсуючого процесу. У зв'язку з цим цикли холодильних установок завжди реалізуються внаслідок витрат енергії.

Щоб теплота, що відводиться від «холодного» джерела, могла бути віддана «гарячому» джерелу (зазвичай - навколишньому повітрі), необхідно підняти температуру робочого тіла вище температури навколишнього середовища. Це досягається швидким (адіабатним) стиском робочого тіла з витратою роботи або підведенням до нього теплоти ззовні.

У зворотних циклах кількість теплоти, що відводиться від робочого тіла, завжди більше кількості теплоти, що підводиться, а сумарна робота стиснення більше сумарної роботи розширення. Завдяки цьому установки, що працюють за подібними циклами, є споживачами енергії. Холодильні установки відрізняються застосуванням робочим тілом та принципом дії.

Передача теплоти від «холодного» джерела «гарячому» може здійснюватися за рахунок витрати роботи або витрат теплоти.

Повітряні холодильні установки

У повітряних холодильних установках в якості робочого тіла використовується повітря, а передача теплоти від «холодного» джерела «гарячому» здійснюється за рахунок витрати механічної енергії. Необхідне для охолодження холодильної камери зниження температури повітря досягається в цих установках в результаті швидкого розширення, при якому час на теплообмін обмежено, і робота в основному здійснюється за рахунок внутрішньої енергії, у зв'язку з чим температура робочого тіла падає. Схема повітряної холодильної установки показана на рис. 1

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

використовуються процеси кипіння та конденсації робочого тіла (холодоагенту) при постійних значеннях тисків.

Таблиця 1 – Фізичні параметри холодоагентів

Холодоагент	Температура кипіння $t_{\text{кип}}$ при тиску $p=0,1$ Мпа, °С	Критична температура, °С	Температура замерзання, $t_{\text{зам}}$ °С	Прихована теплота пароутворення при $t_{\text{кип}}$, кДж/кг
Аміак NH ₃	-33,7	132,4	-77,7	1370
Фреон R-12 CCl ₂ F ₂	-30,6	111,5	-155,0	162
Фреон R-22 CHF ₂ Cl	-40,75	96,0	-160,0	233,5
Фреон R-134A CF ₃ CFH ₂	-26,1	101,1	-101,0	217,1

У ХХ столітті як холодоагенти широко застосовували різні фреони на основі фторхлорвуглеців. Вони викликали активне руйнування озонового шару, у зв'язку з чим в даний час їх застосування обмежене, і як основний холодоагент використовують холодоагент R-134A (відкритий у 1992 році) на основі етану. Його термодинамічні властивості близькі до властивостей фреону R-12. В обох холодоагентів несуттєво різняться молекулярні маси, теплоти пароутворення і температури кипіння, але, на відміну R-12, холодоагент R-134A не агресивний по відношенню до озонового шару Землі.

Схема ПКХУ та цикл у T-s-координатах показані на рис. 2(а,б). У ПКХУ зниження тиску та температури здійснюється дроселюванням холодоагенту при його протіканні через редукційний вентиль РВ, прохідний переріз якого може змінюватися.

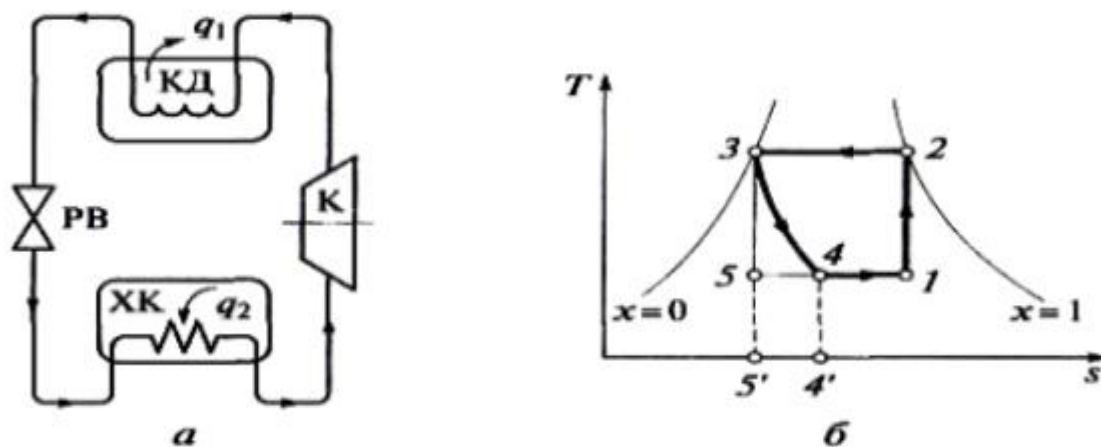


Рис. 2 - Принципова схема (а) і цикл в T-s координатах (б) парокомпресійної холодильної установки

З котельної установки пар надходить у сопло ежектора Е. При закінченні пари з великою швидкістю в камері змішування за соплом створюється розрідження, під дією якого в камеру змішування підсмоктується холодоагент з холодильної камери ХК. У дифузори ежектора швидкість суміші зменшується, а тиск і температура зростають. Потім парова суміш надходить у конденсатор КД, де перетворюється на рідину в результаті відведення в довкілля теплоти q_1 . У зв'язку з багаторазовим зменшенням питомого об'єму в процесі конденсації тиск знижується до значення, у якому температура насичення приблизно дорівнює 20°C . Одна частина конденсату перекачується насосом Н в котельний агрегат КА, а інша - піддається дроселюванню у вентилі РВ, в результаті чого при зниженні тиску та температури утворюється волога пара з невеликим ступенем сухості. У теплообміннику-випарнику ХК ця пара підсушується при постійній температурі, відбираючи теплоту q_2 у охолоджуваніх предметів, а потім знову надходить у паровий ежектор.

Оскільки витрати механічної енергії на перекачування рідкої фази в абсорбційних і пароежекторних холодильних установках вкрай малі, ними нехтують, і ефективність таких установок оцінюють коефіцієнтом тепловикористання, що являє собою відношення теплоти, що відбирається від охолоджуваніх предметів до теплоти, використовуваної для реалізації циклів.

Термоелектричні холодильні установки

Існують пристрої, засновані на ефекті Пельтьє, що полягає в поглинанні теплоти одним із спаїв термопар (різнорідних провідників) при виділенні її на іншому спаї у разі пропускання через них струму. Цей принцип використовують, зокрема, у сумках-кулерах. Можливе як зниження, так і підвищення температури за допомогою запропонованих французьким інженером Ранком вихрових трубок, в яких температура істотно змінюється по радіусу закрученого вихрового повітряного потоку, що рухається в них.

Термоелектричний холодильник ґрунтується на елементах Пельтьє. Він безшумний, але поширений мало через дорожнечу охолоджуючих термоелектричних елементів. Однак невеликі автомобільні холодильники та охолоджувачі питної води часто виробляють із охолодженням від елементів Пельтьє.

Холодильник на вихрових охолоджувачах

Охолодження здійснюється за рахунок розширення попередньо стисненого компресором повітря у блоках спеціальних вихрових

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>10</i>

охолоджувачів. Вони поширені мало через велику шумність, необхідність підведення стисненого (до 1,0-2,0 МПа) повітря і дуже великої його витрати, низького ККД. Позитивні якості - велика безпека (не використовується електрика, немає рухомих частин і небезпечних хімічних сполук), довговічність і надійність.

Абсорбція – поглинання газу в об’ємі, а також вибіркове поглинання одного або декількох компонентів газової суміші рідким поглиначем (абсорбентом). Поглинання відбувається або в результаті розчинення в абсорбенті, або в результаті хімічної взаємодії. В першому випадку процес називається фізичною абсорбцією, в другому – хемабсорбцією.

Абсорбентами служать однорідні рідини, або розчини активного компоненту в рідкому розчині.

До абсорбентів пред’являють наступні вимоги : висока абсорбційна здатність; селективність; низький тиск парів; хімічна інертність по відношенню до конструкційних матеріалів; не токсичність; вогне- і вибухобезпечність.

З технологічної точки зору, кращими є ті абсорбенти, витрати яких для певного процесу найменші, тобто, в котрих розчинність речовини, що поглинається, вище. Тому абсорбенти обирають по даним про розчинність в них речовин, що поглинаються.

Фізична абсорбція газу частіше супроводжується виділенням теплоти, значить, що в результаті підвищення температури абсорбенту можливе різке зниження розчинності газу. Тому для підтримки продуктивності абсорбенту вдаються до його охолодження.

Абсорбційний холодильник

Перші абсорбційні холодильні машини, розроблені в ХІХ столітті, використовували як абсорбент сірчану кислоту. Вже у ХХ столітті сам Альберт Ейнштейн приклав руку до створення одного з таких апаратів. Але піонером у цій галузі все ж таки став французький інженер Фердинанд Філіп Карре (1824–1900). У 1850 році він зі своїм братом Едмондом винайшов абсорбційну холодильну машину, яка працювала на суміші води та концентрованої сірчаної кислоти. Удосконалена модель цієї машини була запатентована ним у Франції в 1859 році, а за кілька років він представив холодильну машину, що працює на аміачному циклі.

В абсорбційному водо-аміачному холодильнику використовується властивість одного з широко розповсюджених холодоагентів – аміаку – добре розчинятися у воді (до 1000 об’ємів аміаку на 1 об’єм води).

						<i>Лист</i>
					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

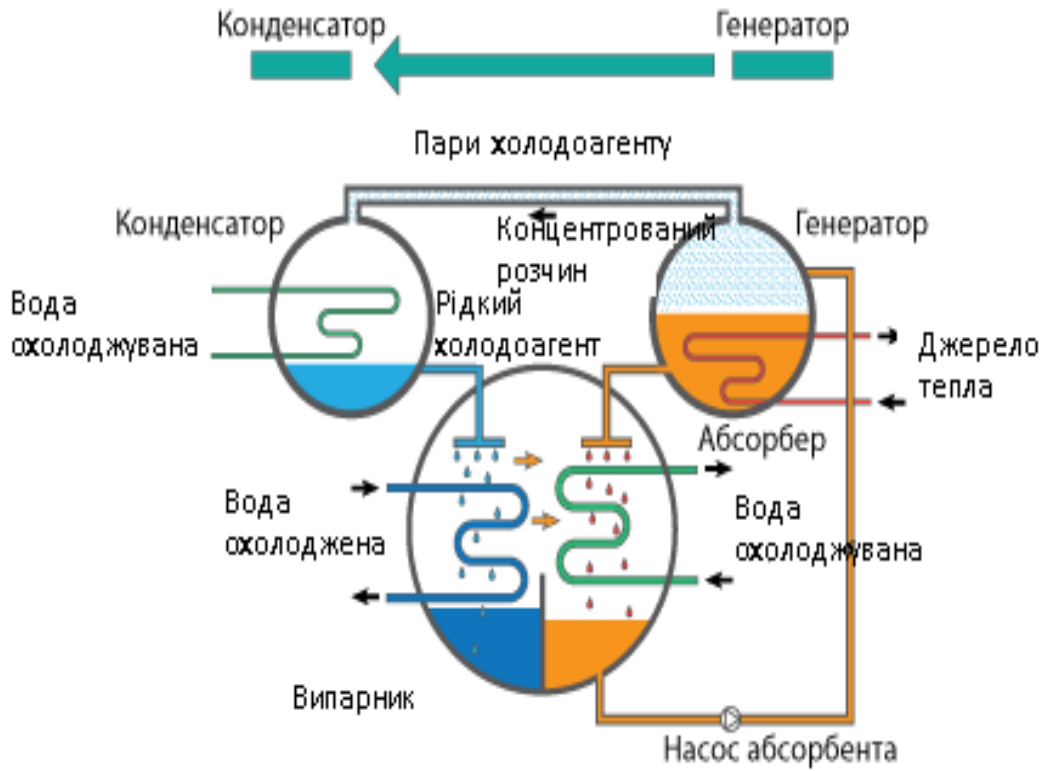
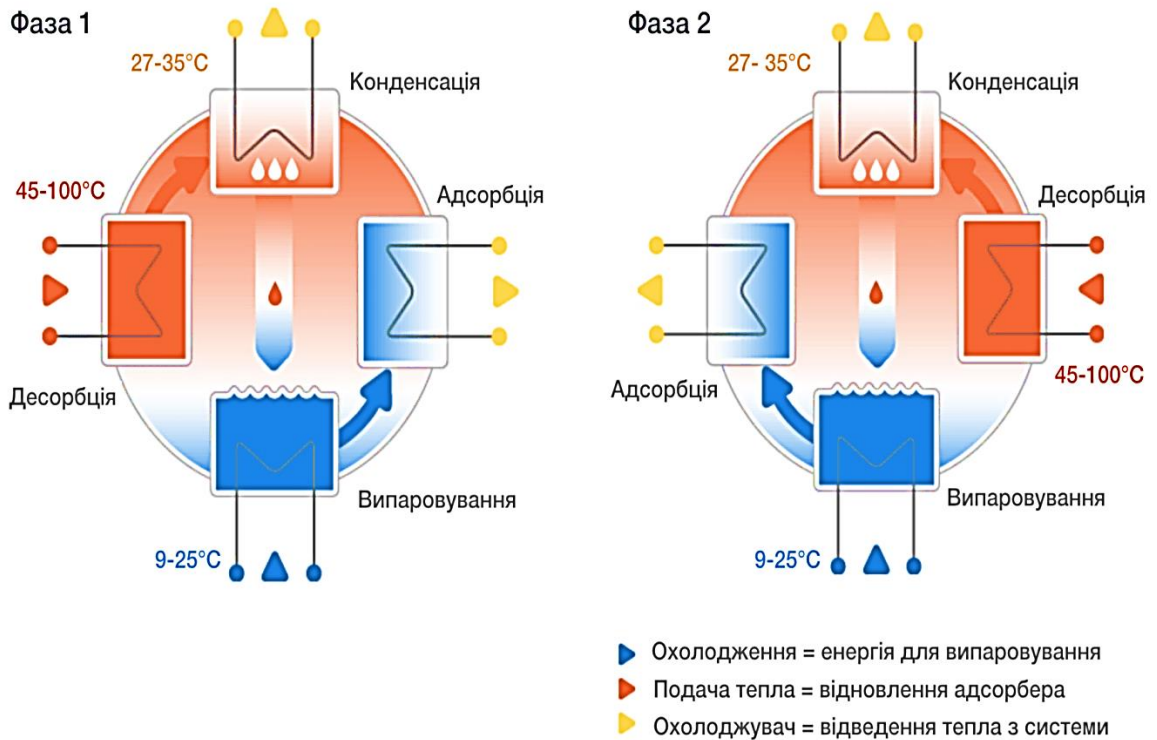


Рис. 5 – Принцип роботи абсорбційної установки



Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

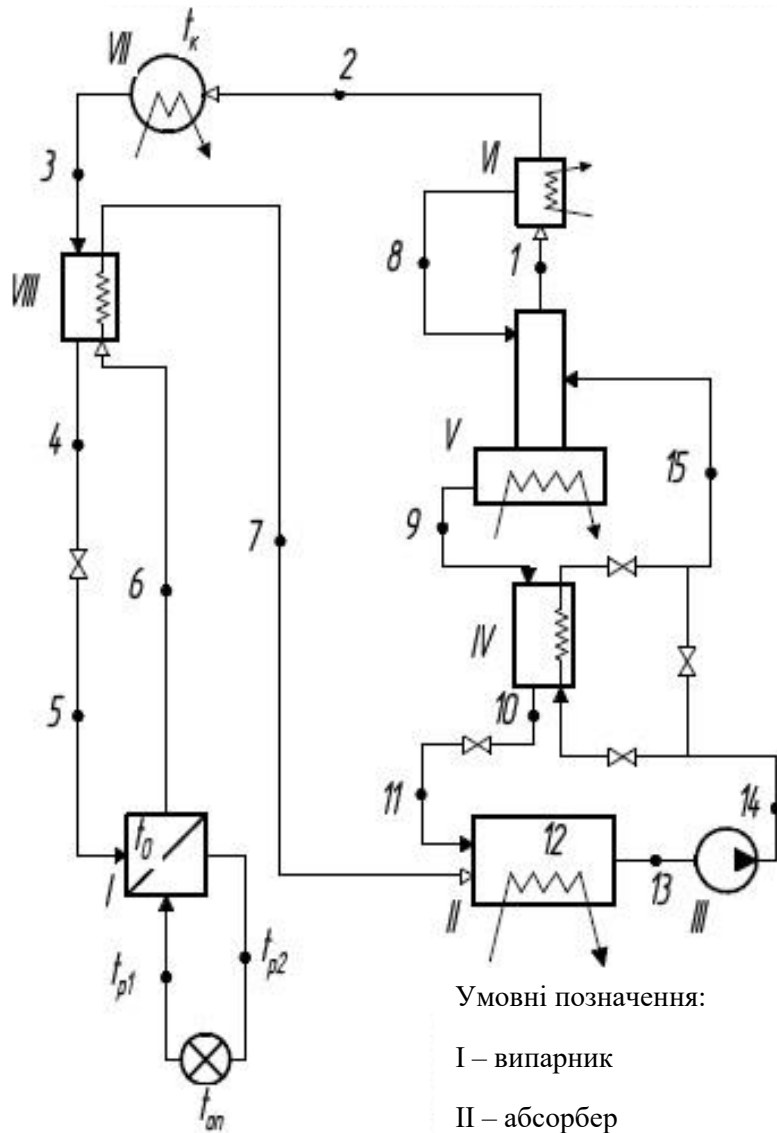
циркулює охолоджена вода. Знизу подається пар, котрий поглинається розчином. Міцний розчин в абсорбері відводиться з нижньої частини.

Інші апарати (конденсатор, дросельний вентиль, випарник, теплообмінники) не мають принципової відмінності від апаратів для компресійної холодильної установки розглянутої раніше.

Параметричний ряд абсорбційних холодильних установок водо-аміачних по потужності, кВт (ккал/год) : 580 (500); 1160 (1000); 1860 (1600); 2900 (2500); 4650 (4000); 7330 (6300); 9280 (8000).

Водо-аміачні машини холодильною потужністю 1,16 Мвт з температурою охолодження 258 К працюють на пару із відбору турбін ТЕЦ, на заводах штучного волокна, на машинобудівельних заводах і використовуються у будівництві.

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14



Умовні позначення:

I – випарник

II – абсорбер

III – насос міцного розчину

IV – теплообмінник розчину

V – ректифікаційна колона

VI – конденсатор

VII - переохолоджувач

Рис. 6 – Схема абсорбційної холодинної установки

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

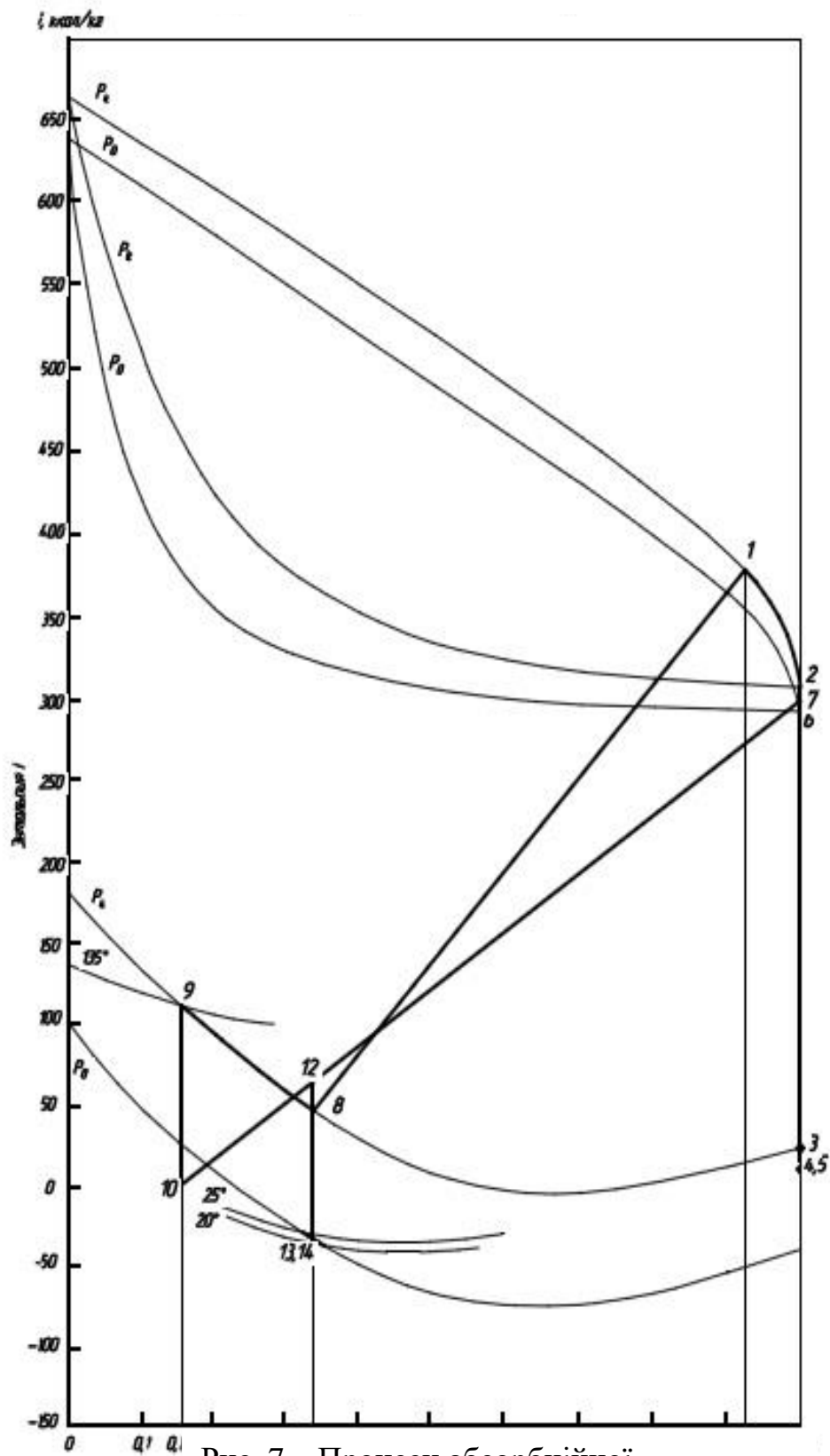


Рис. 7 – Процеси абсорбційної холодинної установки

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ХМ 09.00.00.00 ПЗ

Лист

16

Області застосування абсорбційної холодильної техніки

Популярності набули абсорбційні холодильники на газі Морозко. Вони не потребують підключення до електрики. Такий агрегат можна поставити у дачному будиночку, коли немає можливості підключитися до електрики. Є можливість придбати автомобільний холодильник на газу.

Автомобільний абсорбційний холодильник збереже низьку температуру в камері навіть влітку. Автомобільні міні холодильники допоможуть під час тривалої подорожі. Газовий міні-холодильник Морозко люблять брати в дорогу водії далекобійники.

Недоліки абсорбційного холодильника

Істотні недоліки описуваного пристрою полягають у наступному:

- Вода у водоаміачній рідині поступово теж починає закипати. Пари води будуть також проникати в конденсатор, зменшуючи частку аміаку, що потрапляє туди, оскільки вода зміщується з аміаком. Для усунення цього недоліку застосовуються спеціальні блоки, якими пари аміаку звільняються від води.

- При розчиненні аміаку у водній масі усередині конденсатора вивільняється тепло. При цьому підвищується температура системи та падає її ефективність. Для підвищення ефективності агрегату підігріту суміш застосовують для нагрівання насиченого розчину, що подається в генератор.

- Абсорбційний холодильник не підлягає ремонту.
- Недоліком є й отруйні властивості аміаку. Через них холодильні камери рідко застосовуються приватними особами у побуті.

Відмінність абсорбційного холодильника від компресорного

Основна відмінність абсорбційної холодильної камери від компресорної полягає в тому, що в ній не має компресора. Тому холодильники абсорбційного типу (без пристроїв, що рухаються) не шумлять і рідко ламаються. Це забезпечує як плюси, так і мінуси цього виду пристроїв. У компресійному холодильнику найчастіше ламається компресор. Їх можна полагодити, замінивши компонент, що вийшов з ладу. Абсорбційні холодильники ламаються набагато рідше. Але якщо такий агрегат вийшов з ладу, полагодити його неможливо.

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

1. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЦИКЛУ

Схема абсорбційної холодильної установки зображена на рисунку 1. Процеси, які протікають в абсорбційній холодильній установці, показані на рисунку 2.

Так як температура охолоджуваного приміщення $t_{on} = -25^{\circ}\text{C}$, то приймаємо температури розсолу на вході і виході із випарника: $t_{p1} = -28^{\circ}\text{C}$ і $t_{p2} = -26^{\circ}\text{C}$.

Температура випаровування:

$$t_0 = t_{p1} - 5 = -28 - 5 = -33^{\circ}\text{C}.$$

Так як температура охолоджуваної води на вході в конденсатор $t_{в1} = 12^{\circ}\text{C}$, то приймаємо температуру води на виході $t_{в2} = t_{в1} + 5 = 17^{\circ}\text{C}$.

Температура конденсації:

$$t_k = t_{в2} + 7 = 17 + 7 = 24^{\circ}\text{C}.$$

По таблицям стану насичення для аміаку:

$$P_0 = 0,1 \text{ МПа} = 1 \text{ ата},$$

$$P_k = 0,97 \text{ МПа} = 9,7 \text{ ата}.$$

Температура міцного розчину на виході з абсорберу:

$$t_{13} = t_{в2} + 5 = 17 + 5 = 22^{\circ}\text{C}.$$

По тиску P_0 і температурі t_{13} визначаємо концентрацію розчину $\xi_{\text{мр}} = \xi_{13}$ і його ентальпію i_{13} .

$$i_{13} = -35 \text{ ккал/кг},$$

$$\xi_{\text{мр}} = \xi_{13} = 0,35.$$

Температура слабкого розчину на виході з генератора, приймаючи тиск гріючого пару $p_{\text{гр.п.}} = 0,35 \text{ МПа}$:

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$t_9 = t_{\text{гр.п.}} - 5 = 139 - 5 = 134^\circ\text{C}.$$

По тиску P_k і по температурі t_9 визначаємо концентрацію слабкого розчину $\xi_{\text{сп}} = \xi_{13}$ і його ентальпію i_9 .

$$i_9 = 122 \text{ ккал/кг},$$

$$\xi_{\text{сп}} = \xi_{13} = 0,16.$$

Кратність циркуляції (тобто, відношення масової витрати міцного розчину до масової витрати парів ХА із дефлегматора):

$$f = \frac{G_{\text{кр}}}{D} = \frac{G_{15}}{G_2} = \frac{\xi_2 - \xi_9}{\xi_{13} - \xi_9}.$$

При вірно організованому процесі дефлегмації та ректифікації $\xi_2 \approx 1$, тому:

$$f = \frac{\xi_2 - \xi_9}{\xi_{13} - \xi_9} = \frac{1 - 0,16}{0,35 - 0,16} = 4,42.$$

Температура пару після дефлегматора повинна на Δt_θ перевищувати температуру конденсації чистого агенту при тиску P_k .

$$t_2 = t_{\text{в2}} + \Delta t_\theta = 17 + 8 = 25^\circ\text{C}, (t_2 > t_k).$$

Його ентальпія визначається з діаграми по $\xi_2 \approx 1$ і P_k .

$$i_2 = 309 \text{ ккал/кг}.$$

По $i - \xi$ діаграмі визначаються параметри пару, рівноважного киплячому міцному розчину.

Рідина:

$$P_1 = P_8 = P_k, t_1 = t_8 = 85^\circ\text{C}, i_8 = 49 \text{ ккал/кг}, \xi_8 = \xi_{\text{сп}} = 0,35.$$

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Пара:

$$P_1 = P_8 = P_k, t_1 = t_8 = 85^\circ\text{C}, i_1 = 380 \text{ ккал/кг}, \xi_1 = 0,93.$$

Питоме відведення флегми із дефлегматора (тобто, відношення масової витрати флегми до масової витрати пара на виході з дефлегматора) .

Флегмове відношення:

$$\varphi = \frac{G_8}{G_2} = \frac{\xi_2 - \xi_1}{\xi_1 - \xi_8} = \frac{1 - 0,93}{0,93 - 0,35} = 0,12.$$

Питоме теплове навантаження дефлегматора, тобто відвід теплоти з дефлегматора на одиницю масової витрати пара із дефлегматора:

$$q_{\partial} = (i_1 - i_2) + \varphi(i_2 - i_8) = (380 - 309) + 0,12(309 - 49) \\ = 102,2 \text{ ккал/кг}.$$

Параметри слабкого розчину після теплообмінника:

$$\xi_{14} = \xi_{\text{сп}} = 0,16, i_{13} = i_{14} = -35 \text{ ккал/кг}, t_{14} = 22^\circ\text{C},$$

$$t_{10} = t_{14} + 8 = 22 + 8 = 30^\circ\text{C},$$

$$i_{10} = 6 \text{ ккал/кг}.$$

Ентальпія міцного розчину на вході в генератор, нехтуючи приростом ентальпії розчину в насосі, внаслідок малого значення цієї величини, тобто, з умови $i_{13} = i_{14} = -35 \text{ ккал/кг}$:

$$i_{15} = i_{13} + \frac{f - 1}{f} (i_9 - i_{10}) = -35 + \frac{4,42 - 1}{4,42} (122 - 6) = 54 \text{ ккал/кг}.$$

Ентальпія міцного розчину не повинна перевищувати ентальпію киплячого розчину з концентрацією $\xi_{\text{мр}}$ при тиску P_k .

Ентальпія слабкого розчину після теплообмінника:

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$i_{10} = i_9 - \frac{f-1}{f}(i_8 - i_{13}) = 122 - \frac{4,42-1}{4,42}(49 - (-35)) \\ = 13 \text{ ккал/кг.}$$

Питоме теплове навантаження теплообмінника:

$$q_{\text{то}} = (f-1)(i_9 - i_{10}) = (4,42-1)(122 - 13) = 372,78 \text{ ккал/кг.}$$

Питоме теплове навантаження конденсатора:

$$q_k = (i_2 - i_3) = 309 - 25 = 284 \text{ ккал/кг,}$$

де $i_3 = 25$ ккал/кг по діаграмі.

Температура парів ХА після охолодження:

$$t_7 = t_3 - 8 = 24 - 8 = 16^\circ\text{C,}$$

t_3 – температура рідкого ХА після конденсатора, тобто, $t_3 = t_k$.

Питоме теплове навантаження охолоджувача:

$$q_{\text{ох}} = (i_7 - i_6) = 300 - 292 = 8 \text{ ккал/кг,}$$

ентальпія пара i_7 по діаграмі при P_0 и t_7 .

Ентальпія рідкого аміаку перед дроселем:

$$i_4 = i_3 - q_{\text{ох}} = 25 - 8 = 17 \text{ ккал/кг.}$$

Питома холодопродуктивність установки:

$$q_0 = i_6 - i_5 = 292 - 17 = 275 \text{ ккал/кг.}$$

Питома кількість тепла, відведена в адсорбер:

$$q_a = i_7 - i_{10} + f(i_{10} - i_{13}) = 300 - 13 + 4,42(13 - (-35)) \\ = 499,2 \text{ ккал/кг.}$$

Ентальпія точки змішування: $i_{12} = 67$ ккал/кг.

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_a = f(i_{12} - i_{13}) = 4,42(67 - (-35)) = 450,8 \text{ ккал/кг.}$$

Питоме теплове навантаження генератора:

$$\begin{aligned} q_{\Gamma} &= i_1 - i_9 + f(i_9 - i_{15}) + \varphi(i_1 - i_8) \\ &= 380 - 122 + 4,42(122 - 54) + 0,12(380 - 49) \\ &= 598,3 \text{ ккал/кг.} \end{aligned}$$

Тепловий баланс установки:

$$q_{\text{подв}} = q_{\Gamma} + q_0, q_{\text{отв}} = q_a + q_k + q_{\partial},$$

$$q_{\text{подв}} = 598,3 + 275 = 873 \text{ ккал/кг,}$$

$$q_{\text{отв}} = 450,8 + 102,2 + 284 = 837 \text{ ккал/кг,}$$

розбіжність балансу $\frac{873-837}{873} 100\% = 4\%$.

Витрати ХА (аміаку):

$$G = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{344000}{275} = 1,25 \cdot 10^3 \text{ кг/год,}$$

де $Q_0 = 400\text{кВт} = 344000 \text{ ккал/год.}$

Теплові навантаження апаратів:

- генератора $Q_{\Gamma} = G \cdot q_{\Gamma} = 1,25 \cdot 10^3 \cdot 598,3 = 747,9 \cdot 10^3 \text{ ккал/год,}$

- абсорбера $Q_a = G \cdot q_a = 1,25 \cdot 10^3 \cdot 450,8 = 563,5 \cdot 10^3 \text{ ккал/год,}$

- охолоджувача $Q_o = G \cdot q_o = 1,25 \cdot 10^3 \cdot 8 = 10 \cdot 10^3 \text{ ккал/год,}$

- конденсатора $Q_k = G \cdot q_k = 1,25 \cdot 10^3 \cdot 284 = 355 \cdot 10^3 \text{ ккал/год,}$

- дефлегматора $Q_{\partial} = G \cdot q_{\partial} = 1,25 \cdot 10^3 \cdot 102,2 = 127,8 \cdot 10^3 \text{ ккал/год,}$

- теплообмінника $Q_{\text{то}} = G \cdot q_{\text{то}} = 1,25 \cdot 10^3 \cdot 372,8 = 466 \cdot 10^3 \text{ ккал/год.}$

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Питома витрата тепла:

$$\frac{q_{\Gamma}}{q_o} = \frac{Q_{\Gamma}}{Q_o} = \frac{747,9}{344} = 2,17 .$$

Холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon = \frac{q_o}{q_{\Gamma}} = \frac{275}{598,3} = 0,46 .$$

Абсорбер

Абсорбер - апарат для поглинання газів, пару, для поділу газової суміші на складові розчиненням одного або декількох компонентів цієї суміші в рідині, званої абсорбентом (поглиначем).

В абсорберах здійснюються абсорбційні процеси. Як і інші процеси масопередачі, абсорбція протікає на поверхні розділу фаз. Тому абсорбери повинні мати розвинену поверхню зіткнення між рідиною та газом. За способом утворення цієї поверхні абсорбери можна умовно поділити на такі групи:

1. Поверхневі та плівкові;
2. Насадні;
3. Барботажні;
4. Розпилюючі.

Широке поширення в промисловості в якості абсорберів отримали колони, заповнені насадкою – твердими тілами різної форми.

У насадній колоні рідина тече по елементу насадки головним чином у вигляді тонкої плівки, тому поверхня контакту фаз є в основному змочена поверхня насадки, і насадкові апарати можна розглядати як різновид плівкових. Однак в останніх плівковий перебіг рідини відбувається по всій висоті апарату, а в насадних абсорберах - тільки по висоті елемента насадки. При перетіканні рідини з одного елемента насадки на інший плівка рідини руйнується і на нижньому елементі утворюється нова плівка. При цьому частина рідини проходить через розташовані нижче шари насадки у вигляді струмків, крапель та бризок. Частина поверхні насадки буває змочена нерухомою (застійною) рідиною.

Для того, щоб насадка працювала ефективно, вона повинна задовольняти наступним основним вимогам:

1. мати велику поверхню в одиниці об'єму;

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

2. добре змочуватися зрошувальною рідиною;
3. чинити малий гідравлічний опір газовому потоку;
4. рівномірно розподіляти зрошувальну рідину;
5. бути стійкою до хімічного впливу рідини та газу, що рухаються в колоні;
6. мати малу питому вагу;
7. мати високу механічну міцність;
8. мати низьку вартість.

Насадок, що повністю задовольняють усім зазначеним вимогам, не існує, оскільки, наприклад, збільшення питомої поверхні насадки веде за собою збільшення гідравлічного опору апарату та зниження граничних навантажень.

Широко поширена насадка у вигляді тонкостінних керамічних кілець висотою, що дорівнює діаметру (кілець Рашига), який змінюється в межах 15 – 150 мм. Кільця малих розмірів засипають в абсорбер навалом. Великі кільця (розмірами щонайменше 50 × 50 мм) укладають правильними рядами, зрушеними одне щодо одного. Цей спосіб заповнення апарату насадкою називають завантаженням в укладання, а завантажену таким способом насадку - регулярною. Регулярна насадка має ряд переваг перед нерегулярною, засипаною в абсорбер навалом: має менший гідравлічний опір, допускає більші швидкості газу. Однак для покращення змочування регулярних насадок необхідно застосовувати складніші за конструкцією зрошувачі. Хордова дерев'яна насадка зазвичай використовують у абсорберах, що мають значний діаметр. Основна її перевага – простота виготовлення, недоліки – відносно невелика питома поверхня та малий вільний об'єм.

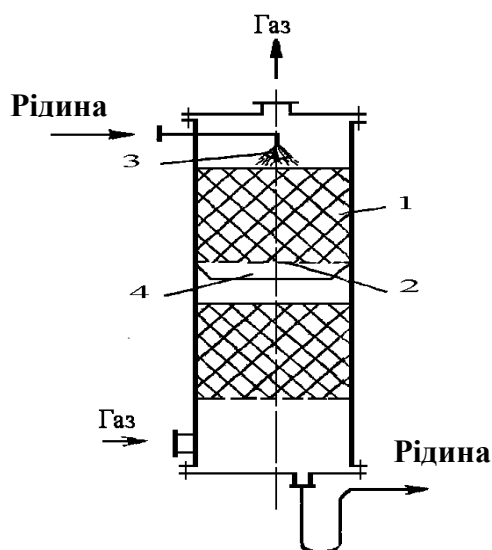


Рис. 8 – Насадний абсорбер

Кільцева насадка - насадні тіла, що являють собою циліндричні тонкостінні кільця, зовнішній діаметр яких зазвичай дорівнює висоті кільця. Кільця насадки виготовляють найчастіше з кераміки або порцеляни. Застосовують також тонкостінні металеві кільця із сталі або інших металів.

Кільця Рашига є простими кільцями без додаткових пристроїв. Ці кільця найдешевші та прості у виготовленні; вони добре зарекомендували себе на практиці і є найвживанішим видом насадок.

Для збільшення поверхні застосовуються кільця з перегородкою (кільця Лессінга), кільця з хрестоподібною перегородкою та спіральні кільця, що мають усередині одну, дві або три спіралі. При регулярному укладанні кільця з хрестоподібною перегородкою та спіральні застосовують розміром 75мм та більше.

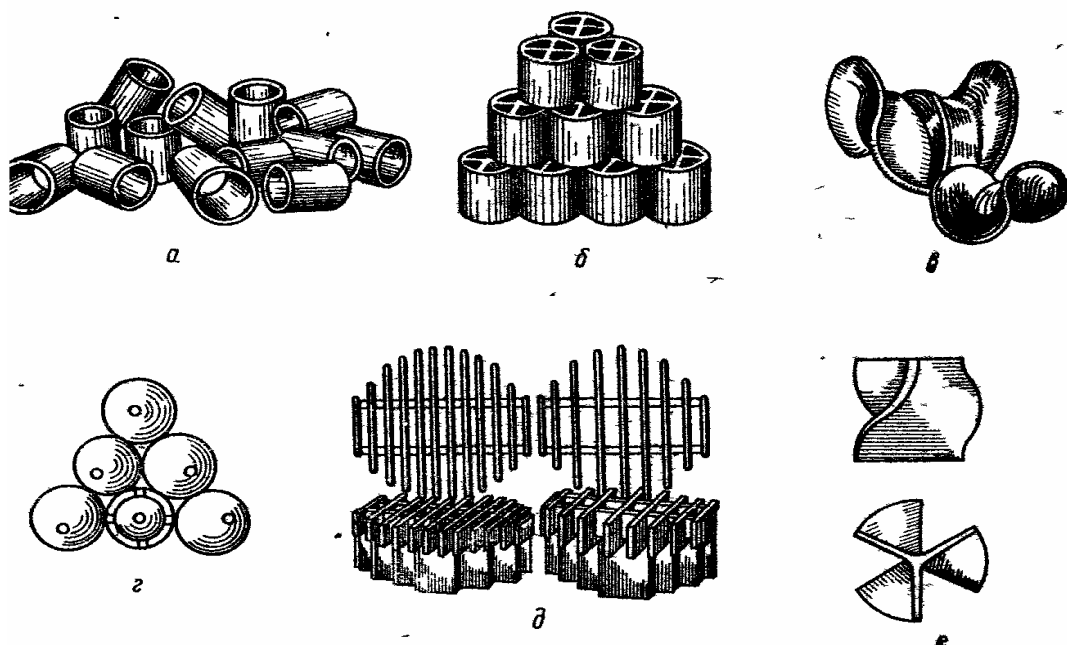


Рис. 9 - Типи насадок:

а - кільця Рашига; б - кільця з перегородками; в - спіральні кільця; г - кулі; д - пропелерна насадка; е - сідлоподібна насадка; ж - хордова насадка.

Складальне креслення абсорбера зображено на рисунку Б (Додаток Б).

Конденсатор

Конденсатор являє собою електричний елемент, створений із двох провідних матеріалів, розділених між собою пластом ізоляції. Класифікують безліч типів даного обладнання, як правило, конденсатори відрізняються за застосуванням матеріалом та ізоляційним пластом між ними.

1. Паперові та металопаперові. У подібних конденсаторах у ролі ізоляції виступає конденсаторний папір. Можуть використовуватися як у низькочастотних ланцюгах, так і високої частоти. Чудовою надійністю характеризуються металопаперові, у них замість фольги застосовується

										Лист
										25
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Так поверхневі конденсатори часто застосовують у тих випадках, коли зрідження та охолодження кінцевого продукту, одержуваного, наприклад, у вигляді перегрітої пари, є завершальною операцією виробничого процесу.

Разом з тим поверхневі конденсатори більш металомісткі, ніж конденсатори змішування, а отже, дорожчі і вимагають великих витрат охолоджуючого агенту. Останнє пояснюється тим, що стінка, котра розділяє середовища, які беруть участь в теплообміні, надає додатковий термічний опір. Це викликає необхідність підвищення середньої різниці температур.

Як поверхневі конденсатори найбільш часто застосовують трубчасті та зрошувальні холодильники-конденсатори.

Складальне креслення конденсатора зображено на рисунку В (Додаток В).

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

2. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ГЕНЕРАТОРА

В якості вихідних даних маємо:

- кількість дистилляту $G_d = 0,347$ кг/с;
- масова частка аміаку у вихідній суміші $a_f = 0,35$;
- масова частка аміаку в дистилляті $a_d = 0,92$;
- масова частка аміаку в кубовому залишку $a_w = 0,16$;
- флегмове відношення $R = 0,12$;
- кратність циркуляції $f = 4,42$.

Визначаємо кількість вихідної суміші і кубового залишку за наступними формулами:

$$G_f = G_d \cdot f = 0,347 \cdot 4,42 = 1,534 \text{ кг/с,}$$

$$G_w = G_d \cdot (f - 1) = 0,347 \cdot (4,42 - 1) = 1,187 \text{ кг/с.}$$

Визначаємо молярні долі аміаку у вихідній суміші, дистилляті і кубовому залишку. Молекулярна маса аміаку $\mu_a = 17$ г/моль, води

$$\mu_b = 18 \text{ г/моль.}$$

$$x_f = \frac{\frac{a_f}{\mu_a}}{\frac{a_f}{\mu_a} + \frac{b_f}{\mu_b}} = \frac{\frac{35}{17}}{\frac{35}{17} + \frac{65}{18}} = 0,36;$$

$$x_d = \frac{\frac{a_d}{\mu_a}}{\frac{a_d}{\mu_a} + \frac{b_d}{\mu_b}} = \frac{\frac{92}{17}}{\frac{92}{17} + \frac{8}{18}} = 0,924;$$

$$x_w = \frac{\frac{a_w}{\mu_a}}{\frac{a_w}{\mu_a} + \frac{b_w}{\mu_b}} = \frac{\frac{16}{17}}{\frac{16}{17} + \frac{84}{18}} = 0,168.$$

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

Для визначення числа тарілок графічним методом будемо діаграму рівноваги для бінарної суміші аміак-вода.

Діаграма рівноваги для бінарної суміші аміак-вода

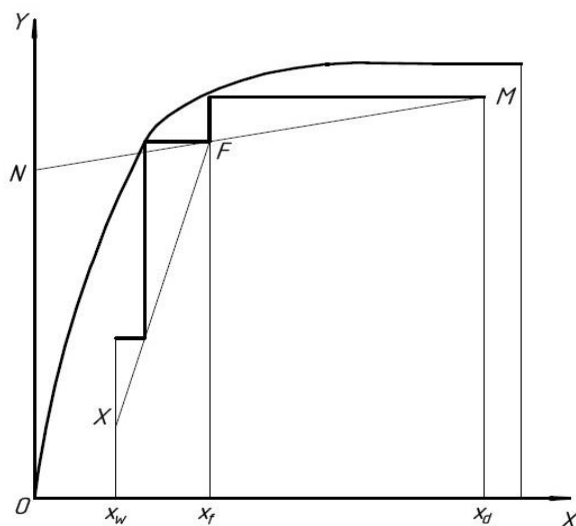


Рис. 10

Таблиця 2. – Рівновага для бінарної суміші аміак-вода

Температура	$a_{жс}$	a_n	x	y
190	0	0	0	0
160	0,11	0,52	0,116	0,534
140	0,184	0,744	0,199	0,755
125	0,24	0,85	0,25	0,857
111	0,3	0,9	0,31	0,905
80	0,46	0,976	0,474	0,977
60	0,584	0,999	0,6	0,999
40	0,81	0,9999	0,82	0,9999
33	1	1	1	1

$$ON = \frac{x_d}{R + 1} = \frac{0,924}{0,12 + 1} = 0,825$$

$$y_F = 91,4\%$$

Визначаємо мінімальне флегмове число:

$$R_{min} = \frac{x_d - y_F}{y_F - x_f} = \frac{92,4 - 91,4}{91,4 - 36} = 0,018.$$

По графіку рівноваги визначаємо дійсне число тарілок $n_T = 3$. Одну тарілку використаємо як насадку.

Приймаючи ККД тарілки $\eta_T = 0,5$, визначаємо дійсне число тарілок:

$$n_d = \frac{n_T}{\eta_T} = \frac{3}{0,5} = 6.$$

Рівняння робочих ліній:

а) верхньої частини колони

$$y = \frac{R}{R + 1} \cdot x + \frac{x_d}{R + 1} = \frac{0,12}{0,12 + 1} \cdot x + \frac{0,924}{0,12 + 1} = 0,107 \cdot x + 0,825$$

б) нижньої частини колони

$$y = \frac{R + f}{R + 1} \cdot x - \frac{(f - 1) \cdot x_w}{R + 1} = \frac{0,12 + 4,42}{0,12 + 1} \cdot x + \frac{(4,42 - 1) \cdot 0,16}{0,12 + 1} \\ = 4,05 \cdot x - 0,513$$

Середні концентрації рідини:

а) верхньої частини колони

$$x_{cp}^I = \frac{x_f + x_d}{2} = \frac{0,36 + 0,924}{2} = 0,642$$

б) нижньої частини колони

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$x_{\text{cp}}^{\text{II}} = \frac{x_f + x_w}{2} = \frac{0,36 + 0,168}{2} = 0,264.$$

Середні концентрації пара знаходимо з рівнянь робочих ліній:

а) верхньої частини колони

$$y_{\text{cp}}^{\text{I}} = 0,107 \cdot x + 0,825 = 0,107 \cdot 0,642 + 0,825 = 0,894$$

б) нижньої частини колони

$$y_{\text{cp}}^{\text{II}} = 4,05 \cdot x - 0,513 = 4,05 \cdot 0,264 - 0,513 = 0,556.$$

Середні температури пара визначаємо з діаграми (рис.2):

а) верхньої частини колони

$$t_{\text{cp}}^{\text{I}} = 119 \text{ при } y_{\text{cp}}^{\text{I}} = 0,894$$

б) нижньої частини колони

$$t_{\text{cp}}^{\text{II}} = 158 \text{ при } y_{\text{cp}}^{\text{II}} = 0,556.$$

Середні мольні маси і щільності пара:

а)
$$\mu_{\text{cp}}^{\text{I}} = y_{\text{cp}}^{\text{I}} \cdot \mu_a + (1 - y_{\text{cp}}^{\text{I}}) \cdot \mu_b = 0,894 \cdot 17 + (1 - 0,894) \cdot 18 = 17,106 \text{ кг/моль},$$

$$\rho_{\text{cp}}^{\text{I}} = \frac{\mu_{\text{cp}}^{\text{I}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{\text{cp}}^{\text{I}}} = \frac{17,106 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 119)} = 0,532 \text{ кг/м}^3.$$

б)
$$\mu_{\text{cp}}^{\text{II}} = y_{\text{cp}}^{\text{II}} \cdot \mu_a + (1 - y_{\text{cp}}^{\text{II}}) \cdot \mu_b = 0,556 \cdot 17 + (1 - 0,556) \cdot 18 = 17,44 \text{ кг/моль},$$

$$\rho_{\text{cp}}^{\text{II}} = \frac{\mu_{\text{cp}}^{\text{II}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{\text{cp}}^{\text{II}}} = \frac{17,44 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 158)} = 0,493 \text{ кг/м}^3.$$

										Лист
										31
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Середня щільність в колоні:

$$\rho_n = \frac{\rho_{\text{cp}}^{\text{I}} + \rho_{\text{cp}}^{\text{II}}}{2} = \frac{0,532 + 0,493}{2} = 0,51 \text{ кг/м}^3.$$

Температура зверху колоні при $x_d = 0,924$ рівна $t_a = 36^\circ\text{C}$, а у кубі-випарнику при $x_w = 0,168$ вона рівна $t_b = 36^\circ\text{C}$. Щільність рідкого аміаку при $t_a = 36^\circ\text{C}$ $\rho_a = 586 \text{ кг/м}^3$, а води при $t_b = 147,5^\circ\text{C}$ $\rho_b = 919 \text{ кг/м}^3$.

Приймаємо середню щільність рідини в колоні:

$$\rho_p = \frac{\rho_a + \rho_b}{2} = \frac{586 + 919}{2} = 752,3 \text{ кг/м}^3.$$

$$\omega = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_n}} = 0,032 \cdot \sqrt{\frac{752,3}{0,51}} = 1,23 \text{ кг/м}^3.$$

Об'ємна витрата пару, що проходить через колону, при середній температурі в колоні:

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_{\text{cp}}^{\text{I}} + t_{\text{cp}}^{\text{II}}}{2} = \frac{119 + 158}{2} = 138,5^\circ\text{C},$$

$$V = \frac{G_d \cdot (R + 1) \cdot 22,4 \cdot T_{\text{cp}}}{\mu_d \cdot T_0} = \frac{0,347 \cdot (0,12 + 1) \cdot 22,4 \cdot (273 + 138,5)}{17,076 \cdot 273} \\ = 0,77 \text{ м}^3/\text{с},$$

де

$$\mu_d = y \cdot \mu_a + (1 - y) \cdot \mu_b = 0,924 \cdot 17 + (1 - 0,924) \cdot 18 = 17,076 \text{ г/моль}.$$

Діаметр колоні:

$$D_k = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{0,77}{0,785 \cdot 1,23}} = 0,893 \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр колоні $D_k = 1000 \text{ мм}$, тоді швидкість пару в

										Лист
										32
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

колоні буде рівна:

$$\omega = \frac{V}{0,785 \cdot D_k^2} = \frac{0,77}{0,785 \cdot 1^2} = 0,98 \text{ м/с.}$$

Висота тарілочної частини колони:

$$H_T = (n_{\partial} - 1) \cdot h_T,$$

де h_T – відстань між тарілками.

Для діаметра колони $D_k = 1000$ мм приймаємо відстань між тарілками рівною $h_T = 0,3$ м. Тоді:

$$H_T = (n_{\partial} - 1) \cdot 0,3 = (4 - 1) \cdot 0,3 = 0,9 \text{ м.}$$

Виконаємо розрахунок насадочної частини колони. Обираємо насадку із керамічних кілець Рашига.

Для хаотично засипаних кілець Рашига розміром $25 \times 25 \times 3$ мм: питома поверхня $\sigma = 195 \text{ м}^2/\text{м}^3$ і вільний об'єм $V_c = 0,75 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

Діаметр насадочної частини колони:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}$$

Швидкість пара визначається наступним шляхом. Спочатку розраховуємо фіктивну швидкість пара ω_3 в точці заклинання (інверсії) з рівняння (при $\rho_p \gg \rho_n$):

$$\lg \left(\frac{\omega_3^2 \cdot \sigma \cdot \rho_0 \cdot \mu_p^{0,16}}{g \cdot V_c^3 \cdot \rho_p} \right) = A - 1,75 \left(\frac{G}{D} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_n} \right)^{0,125},$$

де: σ – питома поверхня насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

V_c – вільний об'єм насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

										Лист
										33
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

ρ_p і ρ_n – щільності пара і рідини, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

$\mu_p = 0,89 \text{ МПа} \cdot \text{с}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини;

G і D - масові витрати рідини і пара, кг/с ;

$A = 0,125$ – для ректифікаційних колон в режимі емульгування;

$$\frac{G}{D} = \frac{R + f}{R + 1}, \text{ де } f = \frac{x_d - x_w}{x_f - x_w} = \frac{0,924 - 0,168}{0,36 - 0,168} = 3,94.$$

$$\frac{G}{D} = \frac{R + f}{R + 1} = \frac{0,12 + 3,94}{0,12 + 1} = 3,63$$

$$\lg \left(\frac{\omega_3^2 \cdot 195 \cdot 0,51 \cdot 0,89^{0,16}}{9,81 \cdot 0,75^3 \cdot 752,3} \right) = -0,125 - 1,75(3,63)^{0,25} \cdot \left(\frac{0,51}{752,3} \right)^{0,125}$$

$$\lg(\omega_3^2 \cdot 0,0311) = -1,176,$$

$$\omega_3^2 = 2,48 \text{ (м/с)}^2,$$

$$\omega_3 = 1,57 \text{ м/с.}$$

Визначаємо робочу швидкість пара для колон, працюючих у плівковому режимі:

$$\omega_n = (0,75 \div 0,9) \cdot \omega_3$$

$$\omega_n = 0,8 \cdot 1,57 = 1,26 \text{ м/с}$$

$$D_n = \sqrt{\frac{0,77}{0,785 \cdot 1,26}} = 0,882 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр насадочної частини колони $D_n = 1000 \text{ мм}$.

Визначаємо висоту насадочної частини колони:

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$h_e = k \cdot \frac{d_{\text{нас}} \cdot \mu_n \cdot \rho}{6 \cdot \psi \cdot T_{\text{см}}}, \text{де}$$

k – емпіричний коефіцієнт для більшості органічних рідин; для керамічних кілець приймаємо рівним – 88;

$d_{\text{нас}}$ – діаметр обраних кілець насадки, мм;

$\mu_n = 35$ – молекулярна маса розпаленої суміші;

ρ – щільність флегми, г/см²;

ψ – коефіцієнт, враховуючий змочування насадки, $\psi = 0,4 \div 0,6$;

$T_{\text{см}}$ – середня температура в колоні, К;

$$h_e = 88 \cdot \frac{25 \cdot 35 \cdot 0,7523}{6 \cdot 0,5 \cdot (273 + 138,5)} = 47 \text{ см.}$$

Висота насадочної частини:

$$H_{\text{н}} = n_T \cdot h_e = 470 \cdot 1 = 470 \text{ мм.}$$

Визначаємо висоту колоні:

$$H_m = 0,9 \text{ м}, H_{\text{н}} = 0,47 \text{ м}, H_k = 2 \text{ м};$$

$$H_{\text{к.н}} = (2 \div 3) \cdot D_k = 2 \cdot 1000 = 2000 \text{ мм} = 2 \text{ м};$$

$$H_{\text{сен}} = (0,5 \div 1) \cdot D_k = 0,5 \cdot 1000 = 500 \text{ мм} = 0,5 \text{ м.}$$

Відстань між тарілочною частиною і насадкою прийmemo рівною 450 мм. Тоді:

$$H = H_m + H_{\text{н}} + H_k + H_{\text{к.н}} + H_{\text{сен}} = 0,9 + 0,47 + 2 + 2 + 0,5 = 5,87 \text{ м.}$$

Генератор

Залежно від холодопродуктивності водоаміачної абсорбційної холодильної машини, температури випаровування та теплоносія

										Лист
										35
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

ХМ 09.00.00.00 ПЗ

застосовують генератори різного типу. Генератор є складним агрегатом, що включає кип'ятильник і ректифікаційний пристрій. У багатьох випадках його комплектують з дефлегматором, який безпосередньо встановлюється над ректифікаційною частиною апарату.

Кип'ятильник може бути вертикальним чи горизонтальним апаратом. Як правило, при застосуванні в якості теплоносія пари або газу найбільш доцільно застосовувати вертикальну конструкцію кип'ятильника, при застосуванні в якості теплоносія перегрітої води - горизонтальну. У машинах невеликої холодопродуктивності в горизонтальних кип'ятильниках також застосовується пара.

Горизонтальні кип'ятильники можуть бути затопленого та зрошувального типу. Апарати зрошувального типу мають ту перевагу, що випарювання розчину в них протікає більш інтенсивно і загальна витрата водоаміачного розчину, необхідна для заповнення апарату, значно менша.

Вертикальні кип'ятильники виконуються плівково-зрошувального типу, причому кипіння водоаміачного розчину протікає у трубному просторі, а пара чи газ надходять у міжтрубний простір.

На рис. 11 показано генератор водоаміачної абсорбційної холодильної машини є вертикальним акомбінованим апаратом. У нижній частині генератора розміщується збірка 10 розведеного водоаміачного розчину. Над збіркою розташований перший кип'ятильник 9 вертикального плівково-зрошувального кожухотрубного типу. Над кип'ятильником встановлений ректифікатор тарілчасто-насадочного типу 3; у його верхній частині розміщено три ректифікаційні тарілки 2, на які стікає флегма з дефлігматора. Всі апарати монтуються один над іншим і утворюють колону з царг одного діаметра.

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

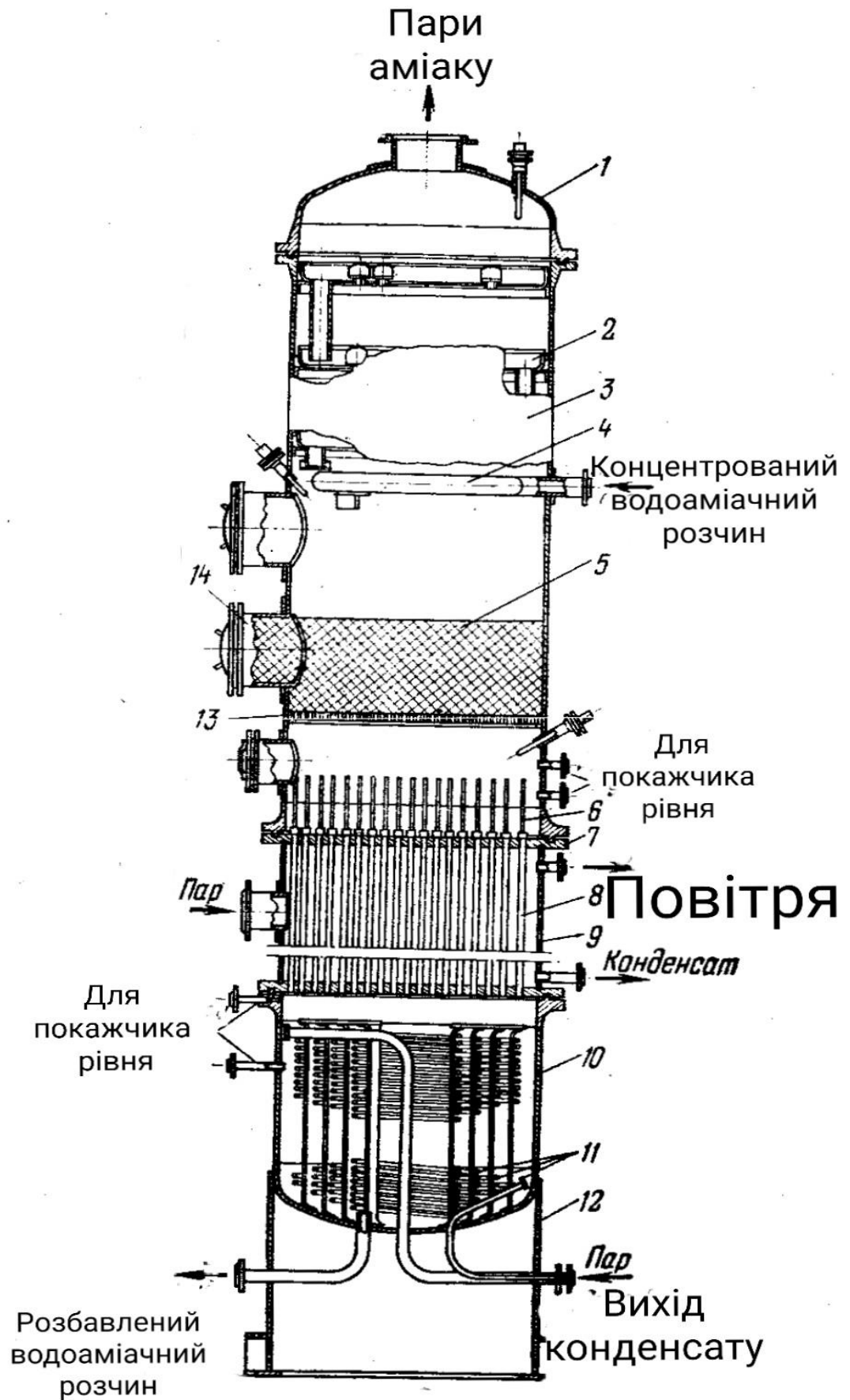


Рис. 11 – Генератор вертикальний водоаміачної абсорбційної холодинної машини

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

ХМ 09.00.00.00 ПЗ

1 – днище; 2 – тарілка ректифікаційна; 3 – корпус ректифікатора; 4 – розподільник водоамічаного розчину; 5 – кільця керамічні; 6 – гвинтова зрошувальна насадка; 7 – решітка трубна; 8 – труба теплообмінна; 9 – корпус кип'ятильника; 10 – збірник водоамічаного розчину; 11 – зміювик для підігріву водоамічного розчину; 12 – основа; 13 – решітка; 14 – люк.

Пари аміаку, проходячи через ректифікаційні тарілки 2, звільняються від парів води, У нижній частині ректифікатора є насадка з фарфорових кілець Рашига 5. Концентрований (міцний) водоамічний розчин надходить з розпилювального пристрою 4 над насадкою і зрошує насадку вгору, стикаючись з розчином, що стікає вниз. Безпосередній контакт між паром та розчином призводить до охолодження та часткової ректифікації парів аміаку. У свою чергу концентрований водоамічний розчин нагрівається і стікає в кип'ятильник. Останній складається з кожуха 9 трубних решіток 7 і труб 8 ввальцованих в нижню і верхню трубні решітки.

Трубні решітки одночасно грають роль фланців, якими кип'ятильник кріпиться до ректифікатора та збірника розведеного (слабкого) водоамічного розчину. Водоамічний розчин проходить кип'ятильник зверху донизу через гвинтову насадку 6, яка встановлюється в кожній трубі. Завдяки гвинтовій насадці розчин стікає плівкою по внутрішній поверхні труб і випаровується. Обігрівуючий пар подається у верхню частину міжтрубного простору кип'ятильника, де конденсується, і у вигляді конденсату видаляється з нижньої частини апарату.

У збірнику 10 розведеного водоамічного розчину розміщений додатковий гріючий зміювик 11, який може розгортатися при форсованому режимі роботи абсорбційної машини. У цьому випадку в зміювик подається пар, що обігріває, тепло конденсації його підвищує продуктивність генератора.

При виготовленні та монтажі генератора особлива увага звертається на точне вертикальне розташування внутрішніх труб

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

кип'ятильника, без чого не може бути рівномірного зрошення внутрішньої поверхні трубок, що обігріваються. У свою чергу, для нормальної роботи ректифікатора необхідно дотримуватися горизонтальності ректифікаційних тарілок і насадки з кілець Рашига.

До переваг цього апарата слід віднести хороші умови відведення парів аміаку з внутрішніх трубок кип'ятильника та порівняно високий коефіцієнт теплопередачі. До переваг конструкції можна також віднести забезпечення повної герметичності, малий об'єм заповнюваного розчину, невелику масу і зручність розташування апарата в загальному компонуванні абсорбційної холодильної машини.

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

3. РОЗРАХУНОК ВИПАРНИКА

Тепловий розрахунок випарника для охолодження рідкого холодоносія, розсолу – розчину NH_3 у воді, ведуть по формулі:

$$Q_B = k_B \cdot F_B \cdot \Delta t_{\text{cp}}$$

Якщо задана холодопродуктивність установки рівна Q_0 , то враховуючи теплові втрати в навколишнє середовище теплове навантаження випарника визначиться формулою:

$$Q_B = 1,08 \cdot Q_0 = 1,08 \cdot 400 = 432 \text{ кВт.}$$

$$k_{\text{в.ор}} = 400 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}), \Delta t_{\text{cp}} = \frac{t_{\text{p1}} - t_{\text{p2}}}{\ln \frac{t_{\text{p1}} - t_0}{t_{\text{p2}} - t_0}} = \frac{-28 + 26}{\ln \frac{-28 + 33}{-26 + 33}} = 5,9,$$

тоді

$$F_{\text{в.ор}} = \frac{Q_B}{k_{\text{в.ор}} \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{432}{400 \cdot 5,9} = 180 \text{ м}^2.$$

Обираємо аміачний кожухотрубний випарник заводу «Компресор» марки 180-ВКТ.

Кількість розсолу, що циркулює в системі випарника:

$$G_p = \frac{Q_B}{c_p (t_{\text{p2}} - t_{\text{p1}})} = \frac{432}{2,916(-26 + 28)} = 74,1 \text{ кг/с},$$

де $c_p = 2,916$ кДЖ/кг – ізобарна теплоємність розсолу ;

$t_{\text{p1}} = -26^\circ\text{C}$ - температура розсолу на вході у випарник ;

$t_{\text{p2}} = -28^\circ\text{C}$ - температура розсолу на виході із випарника.

Швидкість руху розсолу в трубах випарника визначається по формулі:

										Лист
										40
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\omega = \frac{G_p}{\rho_p \cdot f_{\text{ход}}} = \frac{74,1}{1210 \cdot 0,0266} = 2,3 \text{ м/с},$$

де $\rho_p = 1210 \text{ кг/м}^3$ – щільність розсолу ;

$f_{\text{ход}}$ – площа перерізу одного ходу по трубам, визначається по формулі:

$$f_{\text{ход}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot \frac{n}{z} = \frac{\pi \cdot (0,025 - 2 \cdot 0,002)^2}{4} \cdot \frac{614}{8} = 0,0266 \text{ м}^2,$$

тут $d_{\text{вн}} = 0,021 \text{ м}$ – внутрішній діаметр труб випарника ;

$n = 614$ – загальне число труб ;

$z = 8$ - число ходів труб випарника.

Коефіцієнт теплопередачі випарника визначається двома методами, результати яких порівнюють.

I метод

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K'_B = \frac{Q_B}{F_B \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{432 \cdot 10^3}{180 \cdot 5,9} = 407 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

де $F_B = 180 \text{ м}^2$ – поверхня теплообміну випарника, визначається по типрозміру випарника ;

$\Delta t_{\text{ср}}$ – середня різниця температур між аміаком і розсолом, визначається з виразу

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{p1} - t_{p2}}{\ln \frac{t_{p1} - t_0}{t_{p2} - t_0}} = \frac{-28 + 26}{\ln \frac{-28 + 33}{-26 + 33}} = 5,9^\circ\text{C},$$

де $t_0 = -33^\circ\text{C}$ - температура випаровування аміаку.

II метод

Тепловий потік через труби випарника знаходять по формулі:

$$q = \frac{Q_B}{F_B} = \frac{432 \cdot 10^3}{180} = 2400 \text{ Вт/м}^2.$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається з виразу:

										Лист
										41
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ХМ 09.00.00.00 ПЗ					

$$K_B'' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} \cdot \frac{d_{\text{вн}}}{d_3} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_p}} \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

де α_a – коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до аміаку ;

α_p – коефіцієнт тепловіддачі від розсолу до стінки труби ;

$d_{\text{вн}}$ і d_3 – діаметр труб, відповідно внутрішній і зовнішній ;

$\delta_{\text{ст}}, \delta_m, \delta_c$ – товщина стінки труби, шар забруднення мастилом і відкладення солі, відповідно ;

$\lambda_{\text{ст}}, \lambda_m, \lambda_c$ – коефіцієнт теплопровідності металу труби, мастила і солі.

Для аміачних випарників приймають :

$$\delta_m = 0,05 \cdot 0,08 \text{ мм},$$

$$\lambda_m = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}),$$

$$\delta_c = 0,3 \cdot 0,5 \text{ мм},$$

$$\lambda_c = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Термічним опором стінки труби $\delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}}$ в розрахунку можна знехтувати. Величина коефіцієнта α_a визначається з виразу :

$$\begin{aligned} \alpha_a &= 4,2(1 + 0,007t_0)q^{0,7} = 4,2(1 + 0,007 \cdot (-33)) \cdot 2400^{0,7} \\ &= 750 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}) \end{aligned}$$

Величина коефіцієнта α_p знаходить по формулі :

$$\alpha_p = \frac{Nu \cdot \lambda_p}{d_{\text{вн}}},$$

де Nu – критерій Нуссельта ;

$\lambda_p = 0,463 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності розсолу.

Значення критерію Нуссельта визначають із критеріального рівняння :

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

										Лист
										42
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

в котрому:

$$G_p = \frac{Q_B}{c_p(t_{p1} - t_{p2})} = \frac{432}{2,916 \cdot 2} = 74,07 \text{ кг/с},$$

$$\omega = \frac{G_p}{\rho_p \cdot f_{\text{ход}}} = \frac{74,1}{1210 \cdot 0,0266} = 2,3 \text{ м/с},$$

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}}}{\nu_p} = \frac{\omega \cdot d_{\text{вн}} \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{2,3 \cdot 0,021 \cdot 1210}{0,009015} = 6482,9,$$

$$Pr = \frac{\nu_p}{\alpha_p} = \frac{\mu_p \cdot c_p}{\lambda_p} = \frac{0,009015 \cdot 2,916 \cdot 10^3}{0,463} = 57,$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} = 0,023 \cdot 6482,9^{0,8} \cdot 57^{0,4} = 130,$$

тут: $\mu_p = 0,009015 \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості розсолу.

Тоді

$$\alpha_p = \frac{Nu \cdot \lambda_p}{d_{\text{вн}}} = \frac{130 \cdot 0,463}{0,021} = 2866 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$K'' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} \cdot \frac{d_{\text{вн}}}{d_3} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_p}}$$
$$= \frac{1}{\frac{1}{750} \cdot \frac{0,021}{0,025} + \frac{0,0004}{0,7} + \frac{0,00008}{0,14} + \frac{1}{2866}} = 383 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Випарник

Випарник - теплообмінний апарат, в якому здійснюється процес фазового переходу рідкого теплоносія в пароподібний і газоподібний стан за рахунок підведення від гарячішого теплоносія. Таким гарячим теплоносієм зазвичай є вода, повітря, розсіл чи газоподібні, рідкі чи тверді технологічні продукти. Коли процес фазового переходу відбувається на поверхні рідини, це називається випаром. Якщо процес відбувається на всій глибині рідини з утворенням парових бульбашок, це називається кипінням. Фазовий перехід може відбуватися як з однорідною рідиною, так і сумішшю рідких компонентів.

										Лист
										43
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Випарники призначені для отримання дистилляту, що заповнює втрати пари та конденсату в основному циклі паротурбінних установок електростанцій, а також вироблення пари для загальностанційних потреб та зовнішніх споживачів.

Випарники можуть використовуватися у складі як одноступінчастих, так і багатоступінчастих випарних установок для роботи в технологічному комплексі теплових електростанцій.

Як гріюче середовище може використовуватися пара середнього та низького тиску з відборів турбін, а в деяких моделях навіть вода з температурою 150-180°C.

Залежно від призначення та вимог щодо якості вторинної пари випарники виготовляються з одно- та двоступінчастими паропромивальними пристроями.

Випарник являє собою сосуд циліндричної форми і, як правило, вертикального типу. Поздовжній розріз випарної установки представлений на рисунку 5. Випарник з паровим простором (рибойлер) складається з корпусу і одного - трьох трубчастих пучків.

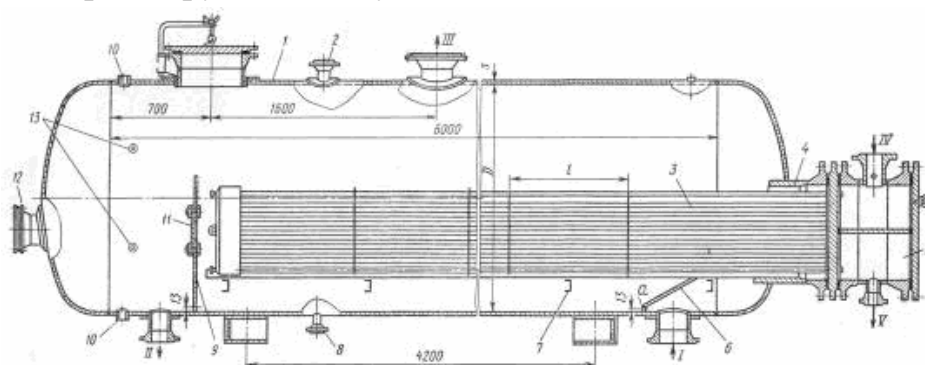


Рис. 12 – Випарник з паровим простором

1 – корпус; 2 – штуцер для запобіжного клапана; 3 – трубчастий пучок; 4 – горловина; 5 – розподільна камера; 6 – козирок; 7 – балка поперечна; 8 – штуцер для дренажу; 9 – перегородка; 10 – муфта для регулятора рівня; 11-12 – люки; 13 – муфти для мірного скла; а – отвір для перетікання в дренаж;

I – залишок низу колони; II – продукт; III – пара; IV – водяна пара; V – конденсат.

Для забезпечення достатньої поверхні дзеркала випаровування та об'єму парового простору відстань від верху зливної перегородки до верхньої частини корпусу 1 приймають не менше ніж 1/3 діаметра корпусу. Рівень рідини у випарнику (підігрівачі) підтримується зливною перегородкою 9, має зубчасту кромку для рівномірного переливу рідини. У випарниках з паровим простором застосовують такі ж трубчасті пучки, як у апаратів з плаваючою головкою або з U-подібними трубками. При цьому діаметр нерухомої трубної

решітки дещо більший, що необхідно для того, щоб плаваюча головка в зібраному вигляді могла вільно пройти через горловину 4 при демонтажі.

Зазвичай як гарячий теплоносій у рибойлері використовується насичена водяна пара, так як витрата перегрітої водяної пари внаслідок її малої теплоємності висока, а коефіцієнт тепловіддачі від перегрітої пари до теплообмінної поверхні малий. Водяна пара подається в трубний простір випарника, а в міжтрубний простір надходить рідина низу ректифікаційної колони, де вона нагрівається і частково випаровується. Пари повертаються в колону під нижню тарілку, а рідина перетікає через перегородку і відводиться в якості готового продукту суміші, що розділяється в ректифікаційній колоні.

Корпус випарника складається з циліндричної обичайки та двох еліптичних днищ, приварених до обичайки. Для кріплення до фундаменту до корпусу приварені опори. Для підйому та переміщення випарника передбачені вантажні штуцери (цапфи).

На корпусі випарника передбачені патрубки та штуцери для:

- підведення гріючої пари;
- відведення вторинної пари;
- відведення конденсату пари, що гріє;
- підведення поживної води випарника;
- підведення води на паропромивний пристрій;
- безперервного продування;
- зливу води з корпусу та періодичного продування;
- перепуску газів, що не конденсуються;
- установки запобіжних клапанів;
- установки приладів контролю та автоматичного регулювання;
- відбору проб.

У корпусі випарника передбачено два люки для огляду та ремонту внутрішніх пристроїв.

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

4. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТРАКТУ ПОДАЧІ ВИХІДНОЇ СУМІШІ В ГЕНЕРАТОР

Схема трубопроводу подачі міцного розчину в генератор

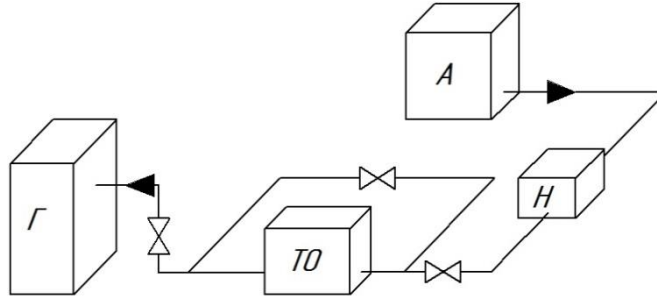


Рис. 13

Так як у тракт подачі вихідної суміші в генератор входить теплообмінник розчину, то нам необхідно виконати конструктивний розрахунок даного теплообмінника.

Розрахунок теплообмінника

Теплове навантаження апарату :

$$Q_{mo} = G \cdot q_{mo} = 1,25 \cdot 10^3 \cdot 372,8 = 466 \cdot 10^3 \text{ ккал/год.}$$

Середня різниця температур між гріючим паром і розчином :

$$\Delta t = \frac{(t_H - t'_Г) - (t_H - t''_Г)}{\ln \frac{t_H - t'_Г}{t_H - t''_Г}} = \frac{(134 - 85) - (30 - 22)}{\ln \frac{134 - 85}{30 - 22}} = 22,6^\circ\text{C.}$$

Приймаємо коефіцієнт теплопередачі $k = 1000 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{C}}.$

Поверхня нагрівання апарату :

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{466000}{1000 \cdot 22,6} = 20,6 \text{ м}^2.$$

									Лист
									46
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Обираємо двотрубний теплообмінник

Діаметр внутрішньої труби $d_1 = 38/33$ мм ; діаметр зовнішньої труби $d_2 = 76/70$ мм ; слабкий розчин направляється в трубу меншого діаметру.

Загальна довжина труб :

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d} = \frac{20,6}{\pi \cdot 0,033} \approx 198 \text{ м.}$$

Число труб при довжині однієї труби $l = 3$ м :

$$n = \frac{L}{l} = \frac{198}{3} \approx 66 \text{ м.}$$

Швидкість руху слабого і міцного розчину :

$$\omega_{\text{сл}} = \frac{4 \cdot (G_f - G)}{3600 \cdot \pi \cdot \rho_{\text{в}} \cdot d_1^2} = \frac{4 \cdot (5522 - 1250)}{3600 \cdot \pi \cdot 950 \cdot (0,033)^2} = 1,5 \text{ м/с ;}$$

$$\omega_{\text{м}} = \frac{4 \cdot G}{3600 \cdot \pi \cdot \rho_{\text{NH}_3} \cdot d_{\text{екв}}^2} = \frac{4 \cdot 1250}{3600 \cdot \pi \cdot 590 \cdot (0,070 - 0,033)^2} = 0,55 \text{ м/с .}$$

Гідродинамічний розрахунок теплообмінника розчину

Повний напір :

$$\Delta p_{\text{то}} = \sum \Delta p_{\text{м}} + \sum \Delta p_{\text{нт}} + \sum \Delta p_{\text{у}} + \sum \Delta p_{\text{гс}} ;$$

де $\sum \Delta p_{\text{нт}}$ – сума гідравлічних опорів поверхонь теплообмінника ;

$\sum \Delta p_{\text{м}}$ – сума втрат напору за рахунок місцевих опорів ;

$\sum \Delta p_{\text{у}}$ – сума втрат, обумовлених прискоренням потоку (в нас

$\sum \Delta p_{\text{у}} = 0$) ;

$\sum \Delta p_{\text{гс}}$ – витрати напору для подолання гідростатичного стовпа рідини (в нас теплообмінник включений в замкнуту мережу, тобто $\sum \Delta p_{\text{гс}} = 0$;

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

значить :

$$\Delta p = \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{nm},$$

$$\sum \Delta p_m = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega_{кр}^2}{2},$$

$$\sum \Delta p_{nm} = \lambda \frac{l}{d_{екв}} \frac{\rho \cdot \omega_{кр}^2}{2},$$

тут

λ - коефіцієнт опору тертя ;

ξ - коефіцієнт місцевого опору ;

l – довжина труб ;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметр труби ;

ρ – щільність міцного розчину ;

$\omega_{кр}$ – швидкість руху міцного розчину в трубах теплообмінника.

$$\sum \Delta p_m = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega_{кр}^2}{2} = (2 \cdot 1,5 + 66 \cdot 0,5) \frac{590 \cdot (0,55)^2}{2} = 3212,6 \text{ Па} ;$$

$$\sum \Delta p_{nm} = \lambda \frac{l}{d_{екв}} \frac{\rho \cdot \omega_{кр}^2}{2} ;$$

Визначимо λ :

$$Re = \frac{\omega_{кр} \cdot d_{екв}}{\nu_p} = \frac{0,55(0,070 - 0,033)}{0,018 \cdot 10^{-6}} = 1130556 ;$$

де $\nu_p = 0,018 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості при $P_k = 9,7 \text{ атм}$, $t = 35^\circ\text{C}$.

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		48

Так як $Re = 1130556 \geq 10^5$, то коефіцієнт опору тертя визначаємо по формулі Нікурадзе :

$$\lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} = 0,0032 + \frac{0,221}{1130556^{0,237}} = 0,011 ;$$

тоді

$$\sum \Delta p_{nm} = \lambda \frac{l}{d_{екв}} \frac{\rho \cdot \omega_{кр}^2}{2} = 0,011 \cdot \frac{198}{0,037} \cdot \frac{590 \cdot (0,55)^2}{2} = 5253 \text{ Па.}$$

Повна втрата напору в теплообміннику :

$$\Delta p_{то} = \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{nm} = 3212,6 + 5253 = 8465,6 \text{ Па.}$$

Гідродинамічний розрахунок трубопроводу

а) У випадку включення в тракт подачі суміші теплообміннику розчину

$$\Delta p_{тр} = \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{nm} ;$$

де $\sum \Delta p_{nm}$ – сума гідравлічних опорів поверхонь теплообмінника ;

$\sum \Delta p_m$ – сума втрат напору за рахунок місцевих опорів ;

$$\sum \Delta p_m = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega_{кр}^2}{2} = (4 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5) \frac{590 \cdot (1,5)^2}{2} = 3319 \text{ Па ;}$$

де $\omega_{кр}$ – швидкість руху міцного розчину в трубопроводі ;

ξ - коефіцієнт місцевого опору ;

l – довжина труб ;

$d_{тр} = 57/51$ мм – діаметр трубопроводу ;

ρ – щільність міцного розчину.

$$\sum \Delta p_{nm} = \sum \Delta p_{nm1} + \sum \Delta p_{nm2} + \sum \Delta p_{nm3} ;$$

										Лист
										49
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ХМ 09.00.00.00 ПЗ					

де $\sum \Delta p_{nm1}$ – сума гідравлічних опорів поверхонь трубопроводу на ділянці трубопроводу від абсорбера до насосу ;

$\sum \Delta p_{nm2}$ - сума гідравлічних опорів поверхонь трубопроводу на ділянці трубопроводу від насосу до теплообмінника ;

$\sum \Delta p_{nm3}$ - сума гідравлічних опорів поверхонь трубопроводу на ділянці трубопроводу від теплообмінника до генератора.

$$\sum \Delta p_{nm1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} ;$$

Визначимо λ_1 :

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{mp}}{\nu_{p1}} = \frac{1,5 \cdot 0,051}{0,014 \cdot 10^{-6}} = 54,6 \cdot 10^5 ;$$

де $\nu_{p1} = 0,014 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{c}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості при $P_0 = 1$ атм, $t = 22^\circ C$.

Так як $Re = 54,6 \cdot 10^5 \geq 10^5$, то коефіцієнт опору тертя визначаємо по формулі Нікурадзе :

$$\lambda_1 = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} = 0,0032 + \frac{0,221}{(54,6 \cdot 10^5)^{0,237}} = 0,008793 ;$$

тоді

$$\sum \Delta p_{nm1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 0,008793 \cdot \frac{3}{0,051} \cdot \frac{590 \cdot (1,5)^2}{2} = 343,3 \text{ Па.}$$

$$\sum \Delta p_{nm2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} ;$$

Визначимо λ_2 :

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{mp}}{\nu_{p2}} = \frac{1,5 \cdot 0,051}{0,25 \cdot 10^{-6}} = 3,1 \cdot 10^5 ;$$

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

де $\nu_{p2} = 0,25 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості при $P_{\text{к}} = 9,7 \text{ атм}$, $t = 22^\circ\text{С}$.

Так як $Re = 3,1 \cdot 10^5 \geq 10^5$, то коефіцієнт опору тертя визначаємо по формулі Нікурадзе :

$$\lambda_2 = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} = 0,0032 + \frac{0,221}{(3,1 \cdot 10^5)^{0,237}} = 0,0142 ;$$

тоді

$$\sum \Delta p_{nm2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 0,0142 \cdot \frac{4}{0,051} \cdot \frac{590 \cdot (1,5)^2}{2} = 739,2 \text{ Па.}$$

$$\sum \Delta p_{nm3} = \lambda_3 \frac{l_3}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} ;$$

Визначимо λ_3 :

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{mp}}{\nu_{p3}} = \frac{1,5 \cdot 0,051}{0,024 \cdot 10^{-6}} = 3,2 \cdot 10^6 ;$$

де $\nu_{p3} = 0,024 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості при $P_{\text{к}} = 9,7 \text{ атм}$, $t = 85^\circ\text{С}$.

Так як $Re = 32 \cdot 10^5 \geq 10^5$, то коефіцієнт опору тертя визначаємо по формулі Нікурадзе :

$$\lambda_3 = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} = 0,0032 + \frac{0,221}{(32 \cdot 10^5)^{0,237}} = 0,00955 ;$$

тоді

$$\sum \Delta p_{nm3} = \lambda_3 \frac{l_3}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 0,00955 \cdot \frac{7,5}{0,051} \cdot \frac{590 \cdot (1,5)^2}{2} = 932,2 \text{ Па.}$$

										Лист
										51
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ХМ 09.00.00.00 ПЗ					

Сума гідравлічних опорів поверхонь трубопроводу :

$$\sum \Delta p_{nm} = \sum \Delta p_{nm1} + \sum \Delta p_{nm2} + \sum \Delta p_{nm3} = 343,3 + 739,2 + 932,2 \\ = 2014,4 \text{ Па.}$$

Повна втрата напору в трубопроводі у випадку включення в тракт подачі суміші теплообмінника розчину :

$$\Delta p_{mp} = \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{nm} = 3319 + 2014,7 = 5333,7 \text{ Па.}$$

Загальна втрата напору в тракті подачі вихідної суміші в генератор в даному випадку :

$$\sum \Delta p = \Delta p_{mo} + \Delta p_{mp} = 8465,6 + 5333,7 = 13799,3 \text{ Па.}$$

б) У випадку виключення із тракту подачу суміші теплообмінника розчину:

$$\Delta p_{mp} = \sum \Delta p_m + \sum \Delta p_{nm} ;$$

де $\sum \Delta p_{nm}$ – сума гідравлічних опорів поверхонь трубопроводу ;

$\sum \Delta p_m$ – сума втрат напору за рахунок місцевих опорів ;

$$\sum \Delta p_m = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega_{кр}^2}{2} = (8 \cdot 1 + 3 \cdot 0,5) \frac{590 \cdot (1,5)^2}{2} = 6305,63 \text{ Па ;}$$

де ω – швидкість руху міцного розчину в трубопроводі ;

ξ - коефіцієнт місцевого опору ;

l – довжина труб ;

$d_{mp} = 57/51$ мм – діаметр трубопроводу ;

ρ – щільність міцного розчину.

										Лист
										52
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\sum \Delta p_{nm} = \sum \Delta p_{nm1} + \sum \Delta p_{nm2} ;$$

де $\sum \Delta p_{nm1}$ – сума гідравлічних опорів поверхонь трубопроводу на ділянці трубопроводу від абсорбера до насосу ;

$\sum \Delta p_{nm2}$ - сума гідравлічних опорів поверхонь трубопроводу на ділянці трубопроводу від насосу до генератора ;

$$\sum \Delta p_{nm1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} ;$$

Визначимо λ_1 :

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{mp}}{\nu_{p1}} = \frac{1,5 \cdot 0,051}{0,014 \cdot 10^{-6}} = 54,6 \cdot 10^5 ;$$

де $\nu_{p1} = 0,014 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{c}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості при $P_0 = 1$ атм, $t = 22^\circ C$.

Так як $Re = 54,6 \cdot 10^5 \geq 10^5$, то коефіцієнт опору тертя визначаємо по формулі Нікурадзе :

$$\lambda_1 = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} = 0,0032 + \frac{0,221}{(54,6 \cdot 10^5)^{0,237}} = 0,008793 ;$$

тоді

$$\sum \Delta p_{nm1} = \lambda_1 \frac{l_1}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 0,008793 \cdot \frac{3}{0,051} \cdot \frac{590 \cdot (1,5)^2}{2} = 343,3 \text{ Па.}$$

$$\sum \Delta p_{nm2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} ;$$

Визначимо λ_2 :

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{mp}}{\nu_{p2}} = \frac{1,5 \cdot 0,051}{0,25 \cdot 10^{-6}} = 3,1 \cdot 10^5 ;$$

										Лист
										53
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ХМ 09.00.00.00 ПЗ					

де $\nu_{p2} = 0,25 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості при $P_{\text{к}} = 9,7 \text{ атм}$, $t = 22^\circ\text{C}$.

Так як $Re = 3,1 \cdot 10^5 \geq 10^5$, то коефіцієнт опору тертя визначаємо по формулі Нікурадзе :

$$\lambda_2 = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} = 0,0032 + \frac{0,221}{(3,1 \cdot 10^5)^{0,237}} = 0,0142 ;$$

тоді

$$\sum \Delta p_{nm2} = \lambda_2 \frac{l_2}{d_{mp}} \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} = 0,0142 \cdot \frac{21}{0,051} \cdot \frac{590 \cdot (1,5)^2}{2} = 3881 \text{ Па.}$$

Сума гідравлічних опорів поверхонь трубопроводу :

$$\sum \Delta p_{nm} = \sum \Delta p_{nm1} + \sum \Delta p_{nm2} = 343,3 + 3881 = 4224,3 \text{ Па.}$$

Повна втрата напору в трубопроводі у випадку виключення із тракту подачі суміші теплообмінника розчину :

$$\Delta p_{mp} = \sum \Delta p_{\text{м}} + \sum \Delta p_{nm} = 6305,63 + 4224,3 = 10529,93 \text{ Па.}$$

ВИСНОВКИ

Абсорбційні холодильні машини – установки, що використовуються для видалення надлишкового тепла. Вони також допомагають підтримувати фіксований температурний режим при функціонуванні інструменту, технічного обладнання. В якості абсорбуючої рідини в АБХМ використовується бромід літію.

Сучасна абсорбційна холодильна установка принцип дії якої побудований на витратах теплової енергії, витрачає мінімум електрики. Відповідно, застосування АБХМ дозволяє зменшити грошові затрати.

Одна з поширених областей використання абсорбційних холодильних агрегатів – будинки з великими навантаженнями на електромережу. Більша частина такого навантаження виникає із-за використання систем кондиціонування. Тому їх замінюють холодильними машинами, які зводять до мінімуму витрати електрики.

Абсорбційні холодильні установки мають такі переваги :

- працюють на екологічно безпечному холодильному агенті – воді, внаслідок чого, небезпеку навколишньому середовищу не несуть ;
- мінімальне енергоспоживання, а це робить їх більш економічними у порівнянні з іншим холодильним обладнанням ;
- їх компактні розміри дозволяють встановити абсорбційну установку в невеликому приміщенні ;
- вироблений холод має дуже низьку вартість, оскільки його виробляють не за рахунок витрачання додаткової електроенергії, а за рахунок виділення в процесі холодильного циклу зайвого тепла ;
- термін експлуатації дуже високий, це пояснюється майже повною відсутністю рухомих частин, котрі, як правило, і приводять до зносу ;

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

- надійні і сучасні мікропроцесори, встановлені в установках, вирішують широке коло задач, пов'язаних з контролем і управлінням, як і повинна працювати повноцінна холодильна система. Це в свою чергу впливає на дуже високу ступінь пожежної безпеки.

Із видимих недоліків можна тільки відмітити необхідність постійної наявності технічної гарячої води у доволі великих об'ємах, дозволяючи безперебійно працювати установці.

Перевагою абсорбційної холодильної установки перед парокомпресійною є використання для вироблення холоду теплової енергії як низького, так і середнього потенціалу.

В процесі абсорбції температура пара може бути нижче температури абсорбенту, який поглинає пар. Для процесу важливо наступне: необхідно, щоб концентрація пара була рівна або більшою рівноважній концентрації цього пару над абсорбентом.

Для можливості застосування абсорбенту він повинен з достатньою швидкістю поглинати холодоагент і при однакових тисках їх температура кипіння повинна бути значно вище температури кипіння холодоагенту.

Найбільше застосування отримали водо-аміачні абсорбційні установки, в котрих аміак являється холодоагентом, а вода – поглиначем (абсорбентом). Аміак сильно розчиняється у воді. При 0°C в одному об'ємі води розчиняється 1148 об'ємів пароподібного аміаку.

При нагріванні водо-аміачного розчину відбувається не тільки виділення парів аміаку, але і випаровування води. Поки температура низька – виділяється в основному пар аміаку. Склад суміші парів початкової стадії відрізняється переважанням аміаку, надалі кількість водяних парів починає рости.

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		56

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ

Ціль організаційних заходів з техніки безпеки на холодильних установках – створення безпечних умов праці шляхом постійного контролю за дотриманням правил монтажу, експлуатації і ремонту обладнання і систем установок, а також шляхом підтримки технічних знань обслуговуючого персоналу на необхідному рівні.

1. Норми заповнення холодильного обладнання холодоагентами

Нормоване заповнення обладнання холодоагентами викликане умовами, без виконання яких неможлива безпечна експлуатація холодильних установок.

Заповнення холодильного обладнання аміаком. У зв'язку з підвищеною небезпекою аміачних холодильних установок першочергове заповнення системи аміаком виконують на підставі розрахунку сумарної кількості рідкого аміаку в апаратах і трубопроводах відповідно до норм заповнення їх внутрішнього об'єму (у %), наведеними нижче.

Випарники

кожухотрубні і вертикально-трубні	80
змійовикові і листотрубні (панельні)	50
незалежно від наявності відділювачів рідини	

Батареї холодильних камер

з верхньою подачею аміаку	30
з нижньою подачею аміаку	70
при безнасосних схемах	60

Повітроохолоджувачі

з верхньою подачею аміаку	50
з нижньою подачею аміаку і при безнасосних схемах	70

Конденсатори	
кожухотрубні вертикальні і горизонтальні без ресиверної частини	0
кожухотрубні з ресиверною частиною кожуха	80
Відділювачі рідини	0
Ресивери	
лінійні	50
циркуляційні вертикальні і горизонтальні з рідинними стояками	15
циркуляційні вертикальні і горизонтальні без рідинних стояків	30
дренажні, захисні	0
Переохолоджувачі, трубопроводи рідкого аміаку	100
Проміжні сосуди в установках двоступінчатого стиснення	
вертикальні	30
горизонтальні	50
Масловідділювачі барботажного типу	30
Морозильні плиточні апарати безпосереднього охолодження	80
Трубопроводи поєднаного видалення пара і зливу рідкого аміаку	30

Перевищення цих норм при розрахунку кількості аміаку, необхідного для заповнення системи, забороняється.

В процесі експлуатації і ремонту декотрі апарати можуть заповнюватися рідким аміаком і вище норм, але не більше: ресивери лінійні, дренажні, горизонтальні циркуляційні і захисні – 80 %, ресивери вертикальні циркуляційні і захисні, проміжні сосуди – 70 %.

Агрегатні компресійні холодильні установки заповнюють рідким аміаком відповідно до інструкції заводу-виробника.

2. Регулювання подачі холодоагенту у випарникову систему

Подача холодоагенту. У випарникову систему холодильної установки холодоагент подається автоматичними приладами (автоматизовані установки) або регулюючим вентиляем (ручний режим роботи). Одна з

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						58
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

основних причин гідравлічних ударів на аміачних холодильних установках – ручне регулювання подачі аміаку в апарати сторони низького тиску і проміжні сосуди внаслідок неукomплектованості установок приладами автоматики або несправності приладів.

При незмінному тепловому навантаженню масова витрата рідкого холодоагенту, що подається у випарникову систему, повинен бути постійним. Недостатня подача рідкого холодоагенту в систему на тих самих умовах приводить до небезпечного режиму роботи компресору, так як при цьому підвищується перегрів всмоктуючого пару і зростає температура нагнітання. Збільшення подачі холодоагенту в систему при постійному тепловому навантаженні викликає переповнення сосуду (апарату) і вологий хід компресора, що може привести до гідравлічного удару .

Особливу небезпеку при регулюванні подачі холодоагенту представляє зміна теплового навантаження, особливо його різке підвищення. Різке підвищення навантаження призводить до вологого ходу компресора внаслідок бурного кипіння холодоагенту у випарниковій системі. Зниження теплового навантаження при постійній (по масі) подачі холодоагенту також призводить до виникнення вологого ходу із-за зменшення кількості википаючого холодоагенту і переповнення випарника.

3. Визначення місць витікання холодоагенту

Небезпечні властивості холодоагентів, особливо аміаку, викликають необхідність своєчасного і швидкого визначення місць витікання холодоагентів і ліквідації нещільностей для підтримки герметичності системи.

Визначення місць витікання аміаку. Місце витікання аміаку визначають за допомогою фільтрувального паперу, просоченого хімічними індикаторами, змінюючими колір при контакті з середовищем, що містить аміак. В якості індикаторів використовують 1%-вий розчин фенолфталеїну у

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

спирті-ректифікаті або за необхідності більш високої чутливості – розчин фенолроту у спирті і гліцерині. При наявності у повітрі аміаку індикаторний папір, попередньо змочений водою, змінює колір на червоний.

Серйозну увагу слід приділяти виявленню нещільностей у місцях розвальцювання труб в трубних решітках, а також тріщин труб у кожухотрубних апаратів, так як наявність таких дефектів може привести до втрат холодоагенту, а за певних умов – до проникнення розсолу (або охолоджуючої води) в систему холодоагенту. Перевірку щільності кожухотрубних випарників і конденсаторів проводять не рідше одного разу в місяць шляхом визначення наявності аміаку в охолоджуючій воді або розсолі за допомогою реактиву Несслера.

Якщо реактив Несслера відсутній, то аналіз проводять за допомогою індикаторного паперу високої чутливості, котрий стане червоного кольору, якщо його опустити в досліджувану рідину або піднести до струменя пару, сформованого при кипінні досліджуваної рідини.

4. Матеріали обладнання і трубопроводів холодильних установок

Аміак інертний по відношенню до чорних металів, алюмінію, фосфористій бронзі, але роз’їдає у присутності вологи цинк, мідь і її сплави. Тому для виготовлення аміачних холодильних машин переважно використовують певні марки сталі та чугуну, які володіють відповідною міцністю, пластичними та іншими характеристиками. Алюмінієві сплави, високооловянисті бронзи знаходять застосування у вузлах тертя за умови гарного змащення поверхонь, що труться.

					<i>ХМ 09.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

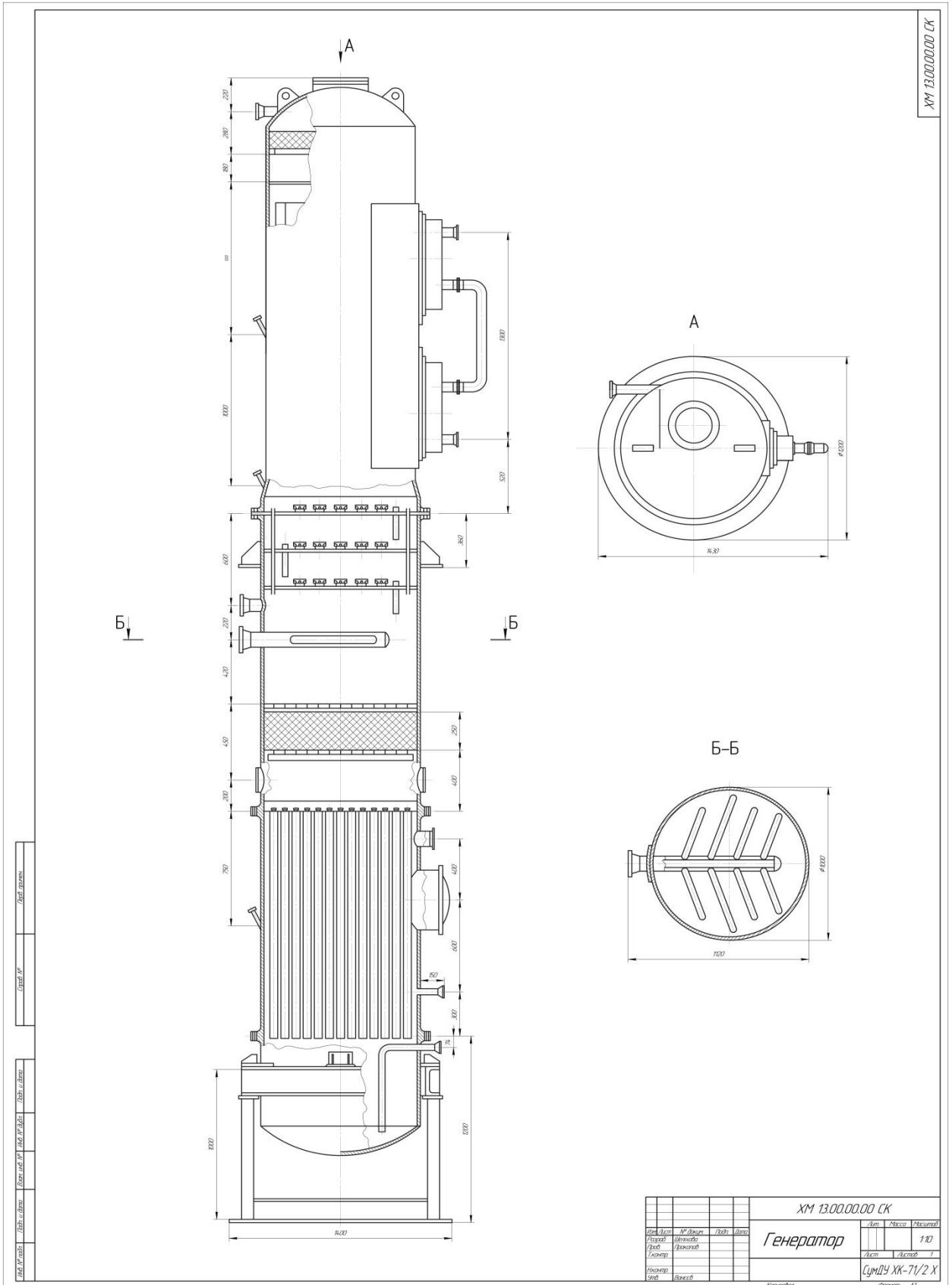
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Холодильные машины: Под общей редакцией проф. Л. С. Тимофеевского, 1997. – 985с.
2. Свердлов Г. З. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха / Г. З. Свердлов, Б. К. Явнель. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1978. – 264 с.
3. 4110 Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалаврів професійного напрямку підготовки 6.050604 "Енергомашинобудування" [Текст]: для студ. напрямів підготовки 6.05060405 "Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка", 6.05060403 "Холодильні машини і установки" денної та заочної форм навчання / В. М. Арсеньєв, Ю. М. Вертепов. — Суми : СумДУ, 2016. — 15 с.
4. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г. Н. Данилова и др. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 303 с.
5. Рабинович С. Г. Погрешности измерений / С. Г. Рабинович. – Ленинград : Энергия, 1978. – 262 с. Лебедев П.Д. «Теплообменные сушильные и холодильные установки», «Энергия», 1972г
6. Охрана труда при обслуживании холодильных установок / А. И. Самойлов и др. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 167 с.

					ХМ 09.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

Додаток А

Рис. А - Генератор



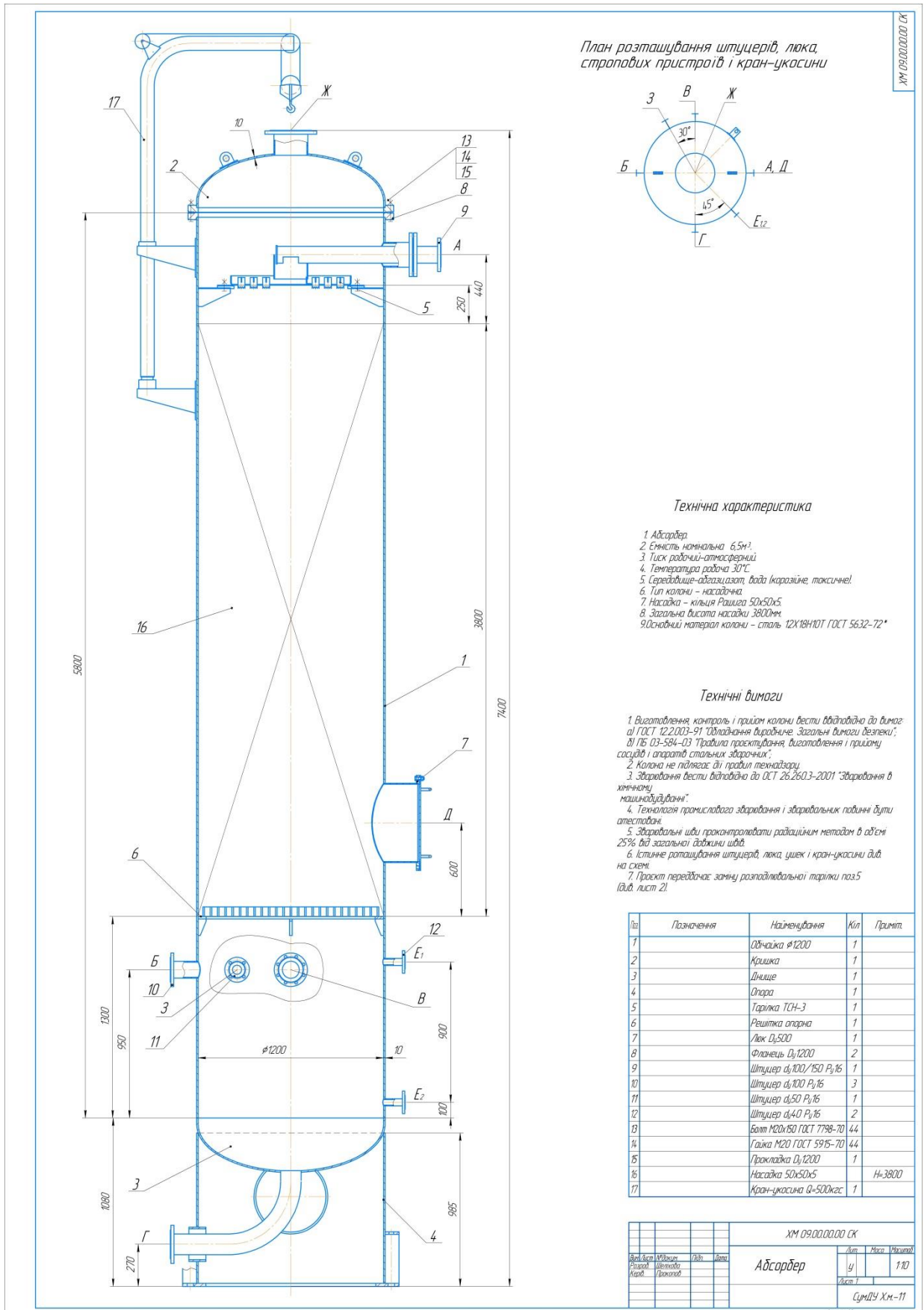
ХМ 13.00.00.00 СК

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ХМ 09.00.00.00 ПЗ

Додаток Б

Рис. Б - Абсорбер



Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

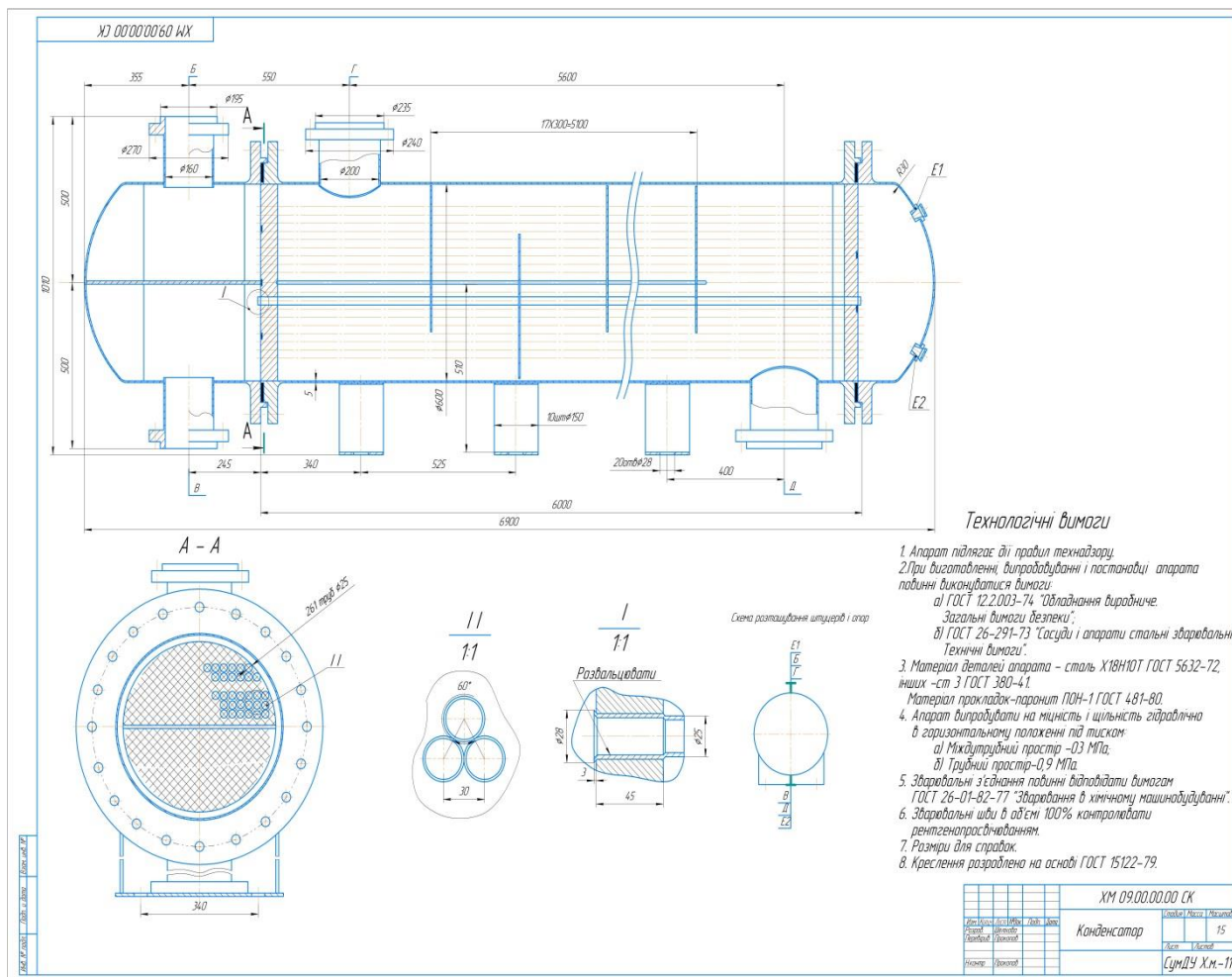
ХМ 09.00.00.00 ПЗ

Лист

63

Додаток В

Рис. В – Конденсатор



Технологічні вимоги

1. Апарат підлягає дві проби технологію.
2. При виготовленні випробовуванні і постановці апарата повинні виконуватися вимоги:
 - а) ГОСТ 12.2.003-74 "Відлядання виробничі. Загальні вимоги безпеки";
 - б) ГОСТ 26-291-73 "Сосуди і апарати сталі зварювальні. Технічні вимоги";
3. Матеріал деталей апарата – сталь Х18Н10Т ГОСТ 5632-72, ніжш – ст 3 ГОСТ 380-41.
4. Матеріал прокладок – пароніт ПОН-1 ГОСТ 481-80. Апарат випробувати на міцність і щільність згідно з положенням в горизонтальному положенні під тиском:
 - а) Міждутрубинний простір – 0,3 МПа;
 - б) Трубинний простір – 0,9 МПа.
5. Зварювальні з'єднання повинні відповідати вимогам ГОСТ 26-01-82-77 "Зварювання в хімічному машинобудуванні".
6. Зварювальні шви в об'єм 100% контролювати рентгенопропусканням.
7. Розміри для справок.
8. Креслення розроблено на основі ГОСТ 15122-79.

		ХМ 09.00.00.00 СК	
Вид	Сторінка	Контур	Лист
Конденсатор			15
		СумДУ ХМ-11	

