

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг
обладнання хімічних виробництв"

Тема роботи: Холодильна установка. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів аміаку

Виконав:
студент групи ХМдн-74р
Вихристюк Максим Вікторович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20__ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Яхненко Сергій Михайлович

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв"

Курс 4 Група ХМдн-74р Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Вихристюку Максиму Вікторовичу

1 Тема роботи: Холодильна установка. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів аміаку

2 Вихідні дані: Розробити апарат повітряного охолодження (АПО) для конденсації парів аміаку. Продуктивність апарату 26 т/добу. Аміак потрапляє у трубний простір АПО під абсолютним тиском 13 ат. Температура атмосферного повітря становить 20°C.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

1. Технологічна схема аміачної холодильної установки – 1,0 арк.
2. Складальне креслення АПО – 1,0 арк.
3. Складальне креслення теплообмінної секції – 1,0 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения / А. Н. Бессонный, Г. А. Дрейцер, В. Б. Кунтыш и др.; Под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

жовтень 2020 р.

Керівник

підпис

доц. Яхненко С.М.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 52 с., 8 рис., 2 табл., 1 додаток, 22 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема холодильної установки, складальне креслення апарату повітряного охолодження, складальне креслення теплообмінної секції – усього 3 аркуші графічної частини формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи «Холодильна установка. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів аміаку».

У роботі представлено опис технологічної схеми аміачної холодильної установки з апаратами повітряного охолодження у якості конденсаторів. Розглянуто теоретичні особливості процесу конденсації газових сумішей, вивчено конструкцію та принцип дії апарату повітряного охолодження, обґрунтовано вибір конструкційних матеріалів для виготовлення основних деталей та вузлів апарату, наведено їх фізико-механічні та технологічні властивості. Виконано технологічний і конструктивний розрахунки процесу і апарату, вибрано допоміжне обладнання. Проведеними перевірочними розрахунками на міцність та герметичність підтверджено механічну надійність проєктованого апарату. Окремим розділом представлена організація монтажних і ремонтних робіт. У розділі «Охорона праці» розглянуто параметри, що визначають пожежну небезпеку горючих газів, рідин і твердих речовин, а також поняття про процеси горіння та вибуху.

Ключові слова: ХОЛОДИЛЬНА УСТАНОВКА, АМІАК, ПОВІТРЯ, КОНДЕНСАЦІЯ, ОРЕБРЕННЯ, МОНТАЖ, ПАРАМЕТР, ГОРІННЯ, ВИБУХ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми холодильної установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	9
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів	15
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату	19
2.1 Технологічні розрахунки	19
2.2 Конструктивні розрахунки	26
2.3 Аеродинамічний опір трубного пучка	29
2.4 Вибір допоміжного обладнання	31
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність	33
4 Монтаж та ремонт апарату	37
4.1 Монтаж апарату	37
4.2 Ремонт апарату	39
5 Охорона праці	43
Література	50
Додаток – Специфікації до складальних креслеників	

						XI.T.00.00.00 ПЗ								
	Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Апарат повітряного охолодження Пояснювальна записка			Літ.		Лист	Листів		
	Розроб.	Вихристюк							к	р	б	4	52	
	Перев.	Яхненко												
	Т. контр.													
	Н. контр.													
	Затв.	Склабінський				СумДУ, ХМдн-74р								

Вступ

Холодильні машини і установки призначені для штучного зниження і підтримки низької температури нижче температури навколишнього середовища від 10°C і до мінус 153°C в заданому охолоджуваному об'єкті. Машини та установки для створення більш низьких температур називаються кріогенними. Відведення і перенесення теплоти здійснюється за рахунок споживаної при цьому енергії. Холодильна установка виконується за проектом в залежності від проектного завдання, що визначає охолоджуваний об'єкт, необхідного інтервалу температур охолодження, джерел енергії та видів охолоджуючого середовища (рідке або газоподібне) [1].

Холодильна установка може складатися із однієї або декількох холодильних машин, укомплектованих допоміжним обладнанням: системою енерго- і водопостачання, контрольно-вимірювальними приладами, приладами регулювання і управління, а також системою теплообміну з охолоджуванним об'єктом. Холодильна установка може бути встановлена у приміщенні, на відкритому повітрі, на транспорті і в різних пристроях, де треба підтримувати задану знижену температуру і видаляти зайву вологу повітря [1].

Система теплообміну з охолоджуванним об'єктом може бути з безпосереднім охолодженням холодильного агенту, по замкнутій системі, по розімкнутій, як при охолодженні сухим льодом, або повітрям в повітряній холодильній машині. Замкнута система може також бути з проміжним холодоагентом, який переносить холод від холодильної установки до охолоджуваного об'єкту [2].

Початком розвитку холодильного машинобудування в широких рамках можна вважати створення К. Лінде у 1874 році першої аміачної паро-компресорної холодильної машини. Із тих пір з'явилося багато різновидів холодильних машин, які можна згрупувати за принципом роботи наступним чином [2]:

- парокомпресійні, спрощено звані компресорні, зазвичай з електроприводом;

- тепловикористовуючі холодильні машини: абсорбційні холодильні машини та пароежекторні;
- повітряно-розширювальні, які за температурі нижче мінус 90°С більш економічні, аніж компресорні і термоелектричні, що вбудовуються у прилади.

Кожна різновид холодильних установок і машин має свої особливості, за якими обирається їх галузь застосування. На даний час холодильні машини і установки застосовуються в багатьох галузях народного господарства, а також у побуті [1].

У даному проекті представлено розрахунок апарату повітряного охолодження, який входить до складу аміачної холодильної установки. Загалом кваліфікаційну роботу виконано у відповідності до методичних вказівок [3] із представленням усіх регламентованих розділів.

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми холодильної установки

На великих холодильних установках у якості холодильного агенту широко застосовується аміак, який є одним із найбільш ефективних холодоагентів. Високі енергетичні показники, інтенсивність теплообміну при зміні агрегатного стану (конденсація, кипіння) забезпечили широке використання аміаку при вирішенні завдань холодопостачання великих підприємств із високою холодопродуктивністю [4].

Переваги аміаку як холодоагенту [2]:

- аміак екологічно чистий, оскільки є одним із продуктів життєдіяльності живих організмів;
- не руйнує озоновий шар і не створює парникового ефекту;
- менш текучий ніж фреони, не проникає крізь кристалічну решітку чорних металів;
- аміачні магістралі можуть виконуватися з більш дешевого у порівнянні з кольоровими металами заліза. Більш того, з багатьма кольоровими металами аміак вступає в хімічні реакції, утворюючи аміди металів;
- аміак значно дешевше фреонів;
- питома масова продуктивність приблизно у 3,5 рази перевищує аналогічний показник інших холодоагентів;
- володіє сильним різким запахом, що дозволяє своєчасно визначати і усунути витік.

Оскільки аміак – відносно вибухонебезпечний, пожежонебезпечний, що володіє задушливою і нейротропною дією. Будь-який об’єкт або майданчик зі встановленою аміачною холодильною установкою може бути хімічно небезпечним. А якщо врахувати, що до складу установки входить обладнання, що працює під надлишковим тиском, може виникнути необхідність отримання лі-

цензії відповідно до положення про ліцензування експлуатації вибухопожежо-небезпечних та хімічно небезпечних виробничих об'єктів I, II і III класів безпеки [2].

Особливу увагу слід приділяти забезпеченню безпеки експлуатації холодильних установок, які відпрацювали понад 20 років. Більшість існуючих аміачних холодильних установок (АХУ) потребує переозброєння, тому що обладнання фізично та морально застаріло, а також закінчуються ресурсні терміни експлуатації. Використання аміаку, як потенційно небезпечного газу, досить строго регламентується правилами безпеки аміачних холодильних установок (ПБ 09-595-03).

На рис. 1.1 зображено технологічну схему аміачної холодильної установки з апаратами повітряного охолодження у якості конденсаторів.

Принцип роботи даної холодильної установки, як і будь-якої іншої, полягає у наступному. Парі аміаку із випарників відсмоктуються компресорними агрегатами. Після чого вони надходять у конденсатори повітряного охолодження, де конденсуються, віддаючи тепло атмосферному повітрю. Далі, уже рідкий аміак, через дросельні пристрої спрямовується назад у випарники, де знову перетворюється на пару.

Для запобігання усмоктування вологої пари, на лінії між випарником і компресорним агрегатом встановлено відокремлювачі рідини. У потоці пари з компресора міститься значна кількість змащувача. У спеціальному масловіддільникові велика частина масла затримується і, накопичившись, повертається в картер компресорної машини. А автоматичний дросельний пристрій постійно забезпечує оптимальне заповнення випарника рідиною на рівні верхнього ряду трубного пучка.

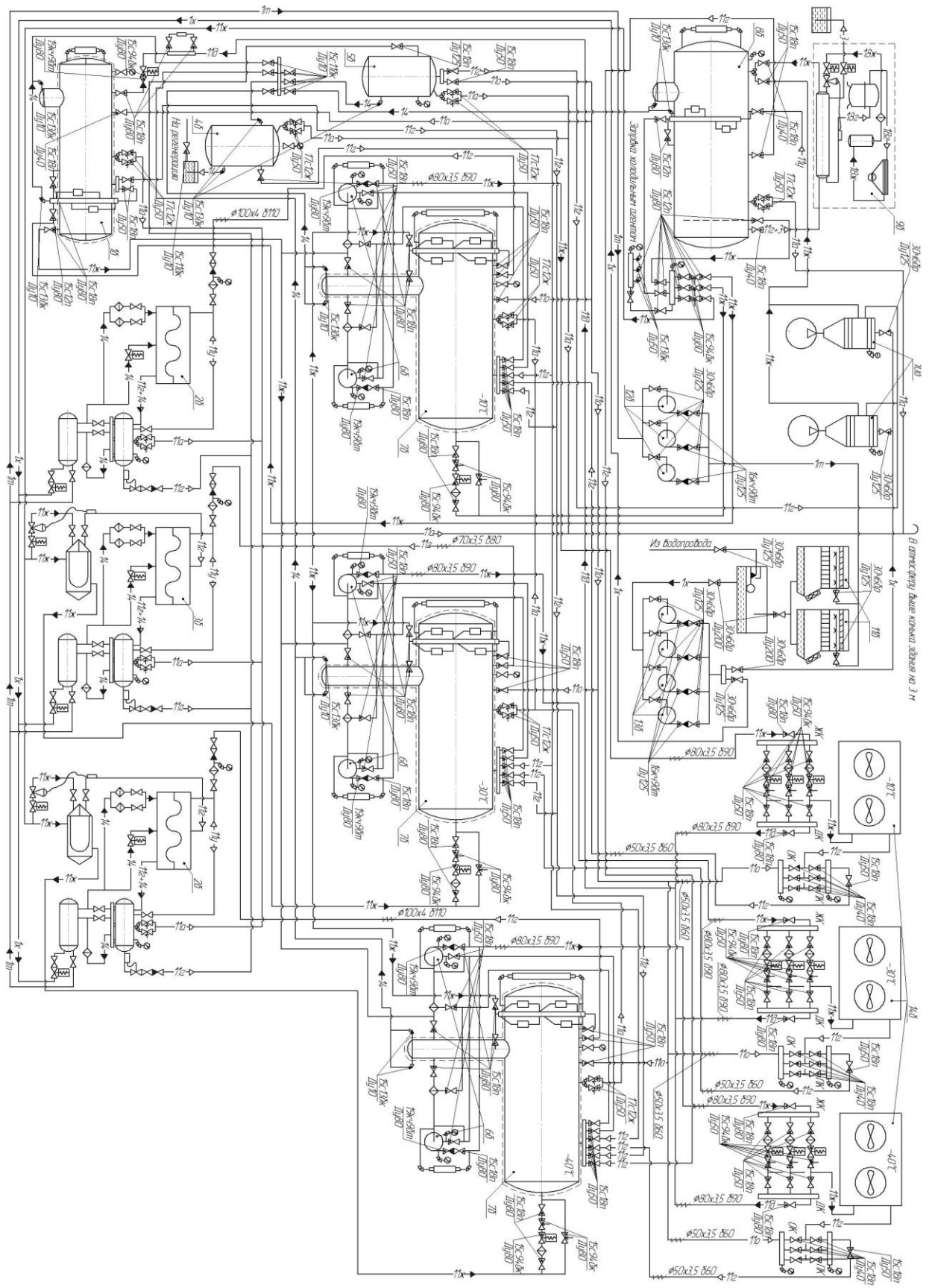


Рисунок 1.1 – Технологічна схема аміачної холодинної установки

1.2 Теоретичні основи процесів теплообміну

У конденсаторах основним завданням процесу є конденсація газу чи пари, при цьому відбувається процес фазового переходу гарячого теплоносія та одержання рідини за рахунок передачі тепла від гарячого теплоносія до холодного та нагрівання останнього.

Залежно від розміщення теплообмінної поверхні розрізняють апарати повітряного охолодження:

- горизонтальні АПГ (рис. 1.2);

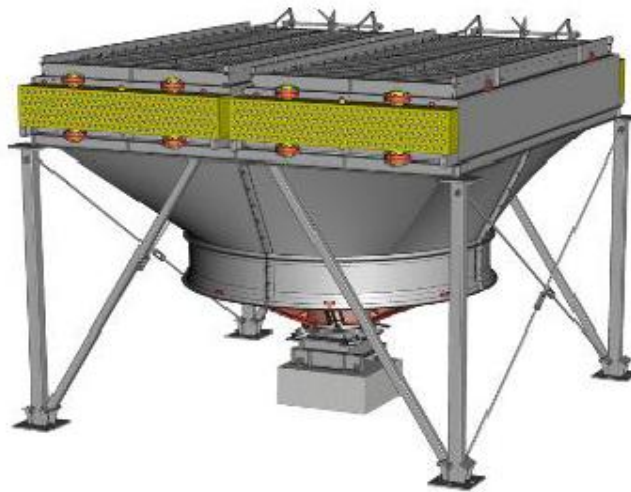


Рисунок 1.2 – Конструкція апарату повітряного охолодження АПГ

- вертикальні АПВ (рис. 1.3);



Рисунок 1.3 – Конструкція апарату повітряного охолодження АПВ

– малопотокові АПМ (рис. 1.4);

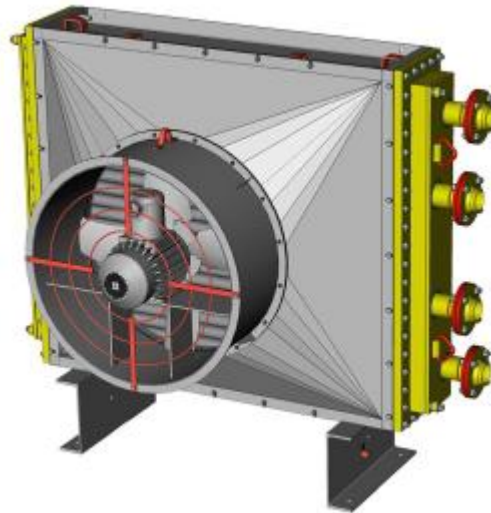


Рисунок 1.4 – Конструкція апарату повітряного охолодження АПМ

– зигзагоподібні АПЗ (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Конструкція апарату повітряного охолодження АПЗ

Для усталеного процесу, коли температури в подібних точках теплоносіїв не змінюються у часі, тепловий потік знаходять за рівнянням [5, 6]:

$$Q = K \cdot \Delta t_{\text{СЕР}} \cdot F, \quad (1.1)$$

де K – загальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

$\Delta t_{\text{СЕР}}$ – середня різниця температур між теплоносійми, °С;

F – площа поверхні теплопередачі, м².

Рівняння (1.1) є основним кінетичним рівнянням процесу теплопередачі.

Розрахунок та вибір стандартизованого АПО здійснюється за величиною площі поверхні теплопередачі.

Поверхня теплопередачі розраховується за формулою [7]:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{СЕР}}. \quad (1.1)$$

Коефіцієнт теплопередачі для плоскої стінки або при великому радіусі її кривизни ($d_B / d_H > 0,5$) складе:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{СТ}}{\lambda_{СТ}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1.2)$$

де α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, Вт/(м²·К);

$\delta_{СТ}$ – товщина стінки теплопередаючої поверхні, м;

$\lambda_{СТ}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/(м·К).

Орієнтовні значення коефіцієнтів теплопередачі та тепловіддачі наведені у таблицях [8].

Середня різниця температур теплоносіїв дорівнює [8]:

$$\Delta t_{СЕР} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (1.3)$$

де Δt_B і Δt_M – відповідно більша і менша різниці температур теплоносіїв на кінцях теплообмінника.

Середня температура теплоносія, за якою визначаються його теплофізичні властивості, знаходиться двома способами. Для теплоносіїв, температури яких змінюються від початкової t_1 до кінцевої t_2 і $t_2 / t_1 < 2$, приймають середньоарифметичну температуру $t_{СЕР} = (t_1 + t_2) / 2$ [7].

Для теплоносія, у якого $t_2 / t_1 > 2$ середню температуру розраховують за формулою [8]:

$$t_{CEP} = \theta_{CEP} \pm \Delta t_{CEP} \cdot \quad (1.4)$$

Для обчислення коефіцієнта тепловіддачі від теплоносія до внутрішніх стінок трубок використовується залежність [9]:

$$\alpha_1 = 0,023 \cdot \frac{\lambda_g}{d_{en}} \cdot Re_g^{0,8} \cdot Pr_g^{0,4}, \quad (1.5)$$

де λ_g – теплопровідність етанолу, Вт/(м·К);

d_{en} – внутрішній діаметр трубок, м;

Re_g – критерій Рейнольдса руху теплоносія по трубам;

Pr_g – критерій Прандтля руху теплоносія по трубам.

Для обчислення коефіцієнта тепловіддачі від оребреної поверхні трубок до повітря використовується залежність [9]:

$$\alpha_2 = 0,223 \cdot k \cdot u^{0,33} \cdot h^{0,14} \cdot d_n^{-0,54} \cdot \left(\frac{W_{air} \cdot \rho_{air}}{\mu_{air}} \right)^{0,65}, \quad (1.5)$$

де k – поправка на оребрення;

h – висота ребер труб, м;

u – крок між ребрами, м;

W_{air} – швидкість атмосферного повітря, м/с;

d_n – зовнішній діаметр трубок, м;

μ_{air} – динамічна в'язкість повітря, Па·с.

Основні критерії подібності, які застосовуються при розрахунках процесів конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв, наведені нижче [8].

– для турбулентного режиму

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3}. \quad (1.11)$$

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів

У проектованому апараті повітряного охолодження (рис. 1.6) охолоджуючим агентом є потік атмосферного повітря, яке нагнітається за допомогою вентилятора.

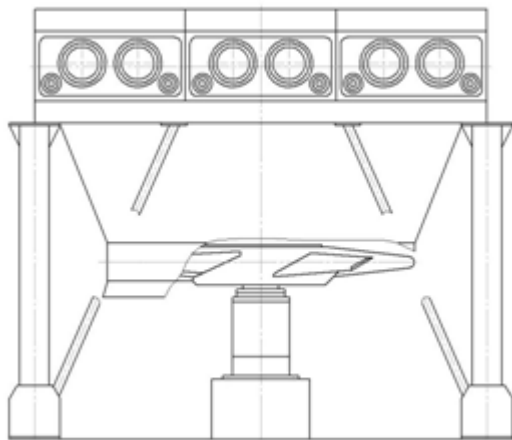


Рисунок 1.6 – Схема апарату повітряного охолодження з горизонтальним розміщенням труб

Принцип роботи даного апарату полягає у наступному. Потік повітря, який нагнітається вентилятором і обдуває трубні секції (три секції), конденсуючи при цьому пари аміаку, який рухається усередині трубного пучка. Трубні секції АПО можуть бути розміщені горизонтально, вертикально чи під нахилом. У нашому випадку вони розташовані горизонтально. При високій температурі повітря його охолоджують, випаровуючи воду, яка подається через колектор. Для зміни режиму роботи АПО повертають лопаті робочого колеса вентилятора або жалюзі.

Використання АПО дає змогу суттєво скоротити витрату охолоджувальної води, зменшити кількість стічних вод і виключає необхідність очищення зовнішньої поверхні теплообмінних труб. АПО мають порівняно низький коефіцієнт теплопередачі. Це частково компенсується шляхом оребрення зовнішньої поверхні теплообмінних труб та збільшенням швидкості подачі повітря.

Теплообмінна секція (рис. 1.7) являє собою пучок оребрених труб, розташованих у шаховому порядку по ходу руху охолоджуючого повітря. Кінці труб закладені в трубні решітки та закриті кришками з отворами для приєднання зовнішньої трубопровідної обв'язки.

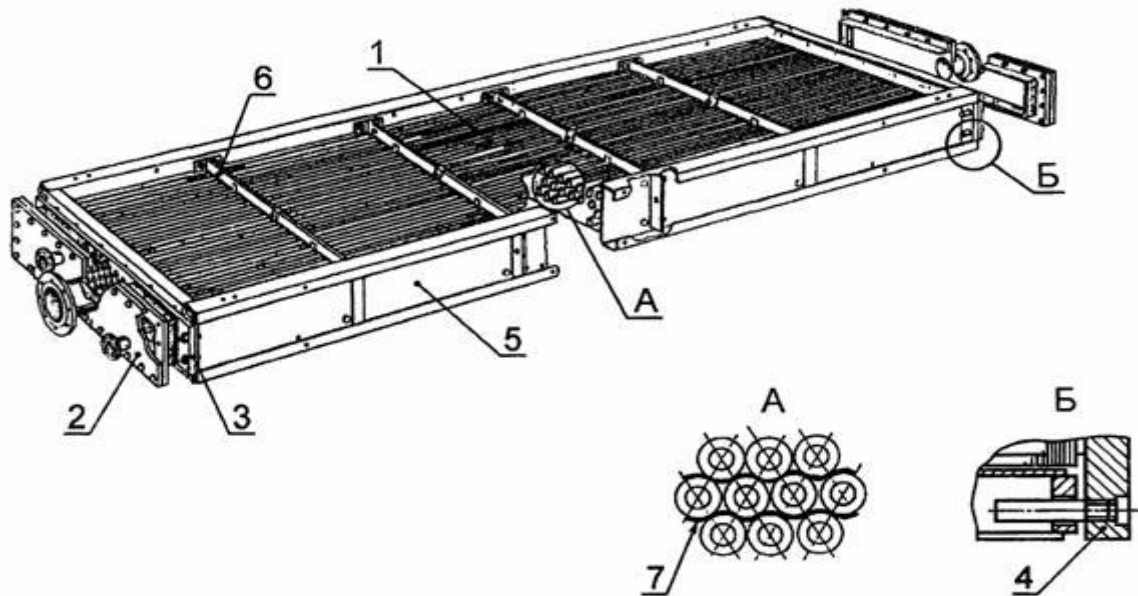


Рисунок 1.7 – Конструкція теплообмінної секції: 1 – трубний пучок; 2 – кришка камери; 3, 4 – нерухома і рухома трубні дошки; 5 – бокова стінка; 6 – балка; 7 – дистанційний елемент

Вентилятори з приводом від електродвигуна призначені для подачі охолоджуючого повітря в теплообмінні секції. Аеродинамічні елементи АПО включають обичайку вентилятора, дифузор і колектор. Несучі конструкції, на яких монтується теплообмінні секції, виконуються залізобетонними.

Теплопередача в апаратах повітряного охолодження відбувається за принципом протитечії, оскільки при цьому забезпечується: найбільший середній температурний напір, що пов'язано зі скороченням розміру поверхні теплопередачі; найкраще використання середовищ, в сенсі отримання найбільшої зміни температур теплоносіїв при мінімальній їх витраті.

Вентилятором повітря продувається через міжтрубний простір. Пучок труб охолоджується зовні. За рахунок тепловідведення через поверхню охолоджується продукт, що протікає всередині трубок. Щоб повітря рівномірно розподілялося по всій охолоджуючій поверхні труб, вентилятор з'єднується з трубними пучками за допомогою дифузорів.

Для конденсатора приймаємо оребрені біметалічні труби (рис. 1.8) з коефіцієнтом оребрення $\phi = 9$.

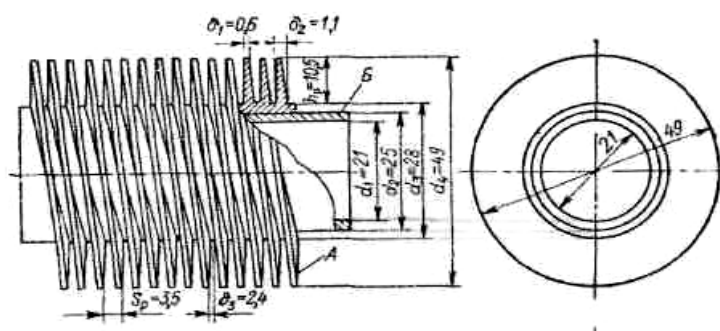


Рисунок 1.8 – Схема оребреної біметалевої труби

Матеріали для виготовлення хімічних апаратів і машин потрібно вибирати відповідно до специфіки їх експлуатації, враховуючи при цьому можливу зміну вихідних фізико-хімічних властивостей матеріалів під впливом робочого середовища, температури і хіміко-технологічних процесів.

Для виготовлення основних деталей та вузлів проєктованого АПО слід вибирати метали, швидкість корозії яких не перевищує 0,1–0,5 мм/рік [12].

За [13] вибираємо сталь 12Х18Н10Т, яка є технологічною при обробці, добре деформованою, як в гарячому і в холодному станах. Ця сталь добре зварюється усіма видами зварювання і не вимагає обов'язкової термічної обробки виробу.

Також для проєктованого апарату повітряного охолодження приймаємо біметалічні труби виконання БЗ. Така труба складається із внутрішньої (сталевий) і зовнішньої (алюмінієвий сплав АД1М) з накатним гвинтовим ребром.

Алюміній має низку властивостей, які відрізняють його від інших металів. По-перше, це невелика щільність, гарна пластичність і достатня механічна міцність, високі тепло- і електропровідність. По-друге, алюміній нетоксичний, немагнітний і корозійностійкий до ряду хімічних речовин.

Пароніт – листовий матеріал прокладки, виготовлений пресуванням асбокаучукової маси, що складається з азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів. Застосовується для ущільнення фланцевих з'єднань [12].

2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Технологічні розрахунки

У нашому випадку аміак надходить в апарат при температурі конденсації, яка при тиску 13 ат. становить 30°C [14]. Тому теплове навантаження конденсатора у нашому випадку становить:

$$Q_{\text{конд}} = G_{\text{п}} r_{\text{x}} = \left(\frac{26 \cdot 1000}{24 \cdot 3600} \right) \cdot 1350 = 406 \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

де $G_{\text{п}}$ – масова витрата гарячого теплоносія (аміак), кг/с;

r_{x} – питома теплота конденсації аміаку при $p_{\text{k}} = 13$ ат., кДж/кг.

Орієнтовна поверхню теплообміну:

$$F_{\text{max}} = \frac{Q}{q}, \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

де q – теплонапряжність апарату, $\text{Вт}/\text{м}^2$. За [15] при конденсації парогазової суміші при $T = 30 - 20 = 10^{\circ}\text{C}$, $q = 400 \div 580 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Приймаємо $q = 500 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

$$F_{\text{max}} = \frac{406 \cdot 10^3}{500} = 813 \text{ м}^2.$$

За [15] вибираємо стандартизований апарат типу АПГ, так, щоб табличне значення повної зовнішньої оребреної поверхні апарату F_{T} перевищувало значення F_{max} , тобто $F_{\text{T}} > F_{\text{max}}$:

$$F_{\text{T}} = 875 \text{ м}^2 > 813 \text{ м}^2.$$

За [15] визначаємо основні параметри апарату:

- повна зовнішня обрєблена поверхня апарату F_T , м ²	875
- довжина теплообмінних труб l , м	4
- число секцій n_c	3
- число труб в секції n	94
- число труб в апараті N	282
- коефіцієнт обрєблення труб ϕ	9
- число рядів труб в секції n_p	4
- число ходів по трубах n_x	4
- сумарна площа найбільш вузького міжтрубного перетину S_y , м ²	5,35

За аеродинамічною характеристикою вентилятора [15] визначаємо величини, віднесені до стандартних умов:

- об'ємної витрати повітря $V_0 = 240000$ м³/год.;
- напору $P_{BO} = 23 \cdot 9,81 = 225,6$ Па;
- коефіцієнту корисної дії $\eta_0 = 0,68$.

Для проєктованого апарату вибираємо осьовий вентилятор ЦАГІ КК-2М з кутом установки лопатей 17°, частотою обертання колеса 7,1 об/с і пропелером діаметром 2800 мм.

Об'ємна витрата повітря, його щільність і тиск вентилятора при робочих умовах ($T = T_{2H} = 293$ К і тиску атмосферного повітря $P = P_0 = 101,3$ кПа):

$$V_B = V_0 \cdot \frac{T \cdot P_0}{P \cdot T_0}, \frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}} \quad (2.3)$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P \cdot T_0}{T \cdot P_0}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2.4)$$

$$P_B = P_{BO} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}, \text{ Па} \quad (2.5)$$

де ρ_0 – щільність повітря при температурі $T_0 = 273 \text{ К}$, по [14] $\rho_0 = 1,293 \text{ кг/м}^3$.

$$V'_B = 240000 \cdot \frac{293}{273} = 258 \cdot 10^3 \frac{\text{М}^3}{\text{ГОД}};$$

$$\rho_B = 1,293 \cdot \frac{273}{293} = 1,205 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3};$$

$$P_B = 225,6 \cdot \frac{1,205}{1,293} = 210 \text{ Па}.$$

Масова витрата повітря одним вентилятором:

$$G_B = V'_B \cdot \rho_B, \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}} \quad (2.6)$$

$$G_B = 258 \cdot 10^3 \cdot 1,205 = 311 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{ГОД}}.$$

З рівняння теплового балансу, кінцева температура повітря:

$$t_{2К} = t_{2Н} + \frac{Q}{c_B \cdot G_B}, \text{ } ^\circ\text{С} \quad (2.7)$$

де $t_{2Н}$ – початкова температура повітря, $^\circ\text{С}$;

c_B – теплоємність повітря за робочих умов; за [14] $c_B = 1,005 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

$$t_{2К} = 20 + \frac{406 \cdot 3600}{1,005 \cdot 311 \cdot 10^3} = 25 \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Отримане значення кінцевої температури повітря має задовольняти умові $t_{2К} < t_{1К}$. Умова виконано: $25 \text{ } ^\circ\text{С} < 30 \text{ } ^\circ\text{С}$.

Коефіцієнт теплопередачі [6]:

$$K = \frac{1}{\psi \cdot \left(\frac{1}{\alpha_T} + r_1 \right) + \frac{1}{\alpha'_X} + r_2}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.8)$$

де ψ – коефіцієнт збільшення поверхні, $\psi = 12$;

α_T – коефіцієнт тепловіддачі з боку аміаку, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

α'_X – приведений коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, що враховує також термічний опір металу, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

r_1 і r_2 – термічні опори можливих забруднень відповідно з боку аміаку і повітря, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

За [6]: $r_1 = 0,0006 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, $r_2 = 0,0004 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

Коефіцієнт тепловіддачі з боку аміаку [15]:

$$\alpha_T = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda_{\text{CP1}}}{d_1}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.9)$$

де Nu – критерій Нусельта;

λ_{CP1} – коефіцієнт теплопровідності аміаку, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

d_1 – внутрішній діаметр труби, $d_1 = 0,021 \text{ м}$.

Фізичні параметри аміаку при температурі його конденсації в апараті [14]: густина $595 \text{ кг}/\text{м}^3$; коефіцієнт теплопровідності $0,24 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; теплоємність $2,08 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; кінематична в'язкість $0,15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Мінімальна швидкість руху аміаку в трубах апарату, при якій забезпечується стійкий турбулентний потік, тобто при якій $\text{Re}_{\text{min}}=10^4$.

$$w_{\text{min}} = \frac{10^4 \cdot \nu_{\text{CP1}}}{d_1}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.10)$$

					Лист		
					22		
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ХІ.Т.00.00.00 ПЗ		

$$w_{\min} = \frac{10^4 \cdot 0,15 \cdot 10^{-6}}{0,021} = 0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Швидкість аміаку:

$$w_1 = \frac{n_x \cdot V_1}{s_1 \cdot n_c}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.11)$$

де n_x – число ходів по трубах, $n_x = 4$;

V_1 – об'ємна витрата аміаку, $\text{м}^3/\text{ч}$;

s_1 – загальна площа внутрішнього трубного простору, м^2 ;

n_c – число секцій, $n_c = 3$.

Об'ємна витрата аміаку:

$$V_1 = \frac{G}{\rho}, \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (2.12)$$

$$V_1 = \frac{26 \cdot 1000}{24 \cdot 595} = 1,82 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 5,05 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Загальна площа внутрішнього трубного простору:

$$s_1 = n \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, \text{м}^2 \quad (2.13)$$

де n – число труб в секції, $n = 94$.

$$s_1 = 94 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} = 0,136 \text{ м}^2.$$

Знаходимо швидкість аміаку за формулою (2.11):

$$w_1 = \frac{4 \cdot 5,05 \cdot 10^{-4}}{0,136 \cdot 3} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Критеріальне рівняння тепловіддачі при турбулентному режимі:

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,3}, \quad (2.14)$$

де Re – критерій Рейнольдса;

Pr – критерій Прандтля.

$$\text{Re} = \frac{w_1 \cdot d_1}{\nu_{\text{CP1}}}, \quad (2.15)$$

$$\text{Re} = \frac{0,5 \cdot 0,021}{0,15 \cdot 10^{-6}} = 70000.$$

$$\text{Pr} = \frac{\nu_{\text{CP1}} \cdot c_{\text{CP1}} \cdot \rho_{\text{CP1}}}{\lambda_{\text{CP1}}}, \quad (2.16)$$

$$\text{Pr} = \frac{0,15 \cdot 10^{-6} \cdot 2,08 \cdot 10^3 \cdot 595}{0,24} = 2,1.$$

Значення критерію Нусельта визначаємо за формулою (2.14):

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot 70000^{0,8} \cdot 2,1^{0,3} = 216.$$

Розраховуємо коефіцієнт тепловіддачі з боку аміаку:

Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{216 \cdot 0,24}{0,021} = 2470 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря [6]:

$$\alpha'_x = 61,6 \lg w - 0,035 \cdot t_{\text{ср2}} - 5,81, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.17)$$

де w – швидкість повітря в найвужчому перерізі міжтрубного простору, м/с;

$t_{\text{ср2}}$ – середня температура повітря в апараті, °С.

$$t_{\text{ср2}} = \frac{t_{2\text{Н}} + t_{2\text{К}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{С} \quad (2.18)$$

$$t_{\text{ср2}} = \frac{20 + 25}{2} = 22,5 \text{ } ^\circ\text{С}.$$

Швидкість повітря в найвужчому перерізі міжтрубного простору:

$$w = \frac{V_{\text{В}}}{s_y}, \frac{\text{М}}{\text{с}} \quad (2.19)$$

де $V_{\text{ср}}$ – середня об'ємна витрата повітря, м³/с;

s_y – сумарна площа найбільш вузького міжтрубного перетину, $s_y = 5,35 \text{ м}^2$.

$$V_{\text{В}} = \frac{G_{\text{В}}}{\rho_{\text{В}}}, \frac{\text{М}^3}{\text{с}} \quad (2.20)$$

де $\rho_{\text{В}} = 1,25 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря при його середній температурі.

$$V_B = \frac{311 \cdot 10^3}{1,05} = 296190 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} = 82,3 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Розраховуємо швидкість повітря в найвужчому перерізі міжтрубного простору за формулою (2.19):

$$w = \frac{82,3}{5,35} = 15,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Знаходимо приведенний коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря:

$$\alpha'_x = 61,6 \cdot \lg 15,4 - 0,035 \cdot 22,5 - 5,81 = 67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі за формулою (2.8):

$$K = \frac{1}{\frac{1}{2470} + \frac{1}{67} + 0,0004} = 64 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Середня різниця температур при $\frac{\Delta t_{\text{в}}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{10}{5} = 2$:

$$\Delta t_{\text{CP}} = \frac{\Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{м}}}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.21)$$

де $\Delta t_{\text{в}}$ і $\Delta t_{\text{м}}$ – більша та менша різниці температур між потоками на вході та на виході з апарата відповідно, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta t_{\text{в}} = t_1 - t_{2\text{H}} = 30 - 20 = 10 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_m = t_1 - t_{2K} = 30 - 25 = 5 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{10 + 5}{2} = 8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Поверхня теплообміну [6]:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2 \quad (2.22)$$

$$F_p = \frac{406 \cdot 10^3}{64 \cdot 8} = 793 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні апарату АПГ:

$$\beta = \frac{F_T - F_p}{F_p} \cdot 100, \% \quad (2.23)$$

$$\beta = \frac{875 - 793}{793} \cdot 100 = 10,34 \text{ } \%$$

Для теплообмінних апаратів коефіцієнт запасу поверхні має становити 10–20 %. Отже, умова виконується.

Визначаємо діаметри штуцерів для введення парів і виходу рідкого аміаку:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (2.24)$$

де V – об'ємна витрата продукту, $\text{м}^3/\text{с}$;

w – швидкість руху продукту, м/с: для газоподібного аміаку $w_{\text{п}} = 5 \div 15$ м/с [6], приймаємо $w_{\text{п}} = 7$ м/с; для рідкого аміаку $w_{\text{ж}} = 0,5 \div 2,5$ м/с [6], приймаємо $w_{\text{п}} = 0,5$ м/с.

- діаметр штуцера для введення парів аміаку

Густина парів аміаку:

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T}, \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (2.25)$$

де ρ_0 – густина парів аміаку за н.у.; $\rho_0 = 0,77$ кг/м³ [14].

$$\rho_1 = 0,77 \cdot \left(\frac{273}{273 + 30} \right) = 0,69 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$V_1 = \frac{26 \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \cdot 0,69} = 0,44 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

$$d_A = \sqrt{\frac{0,44}{0,785 \cdot 7}} = 0,283 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_A = 300$ мм.

- діаметр штуцера для виходу рідкого аміаку

$$V_2 = \frac{26 \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \cdot 595} = 5,06 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

$$d_B = \sqrt{\frac{5,06 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,036 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_B = 40$ мм.

2.3 Аеродинамічний опір трубного пучка

Аеродинамічний опір пучка труб:

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{\rho_{\text{в}}}{g} (w_y)^2 n_p \left(\frac{S_p}{d_3} \right)^{-0,72} \cdot Re^{-0,24}, \quad \text{Па} \quad (2.26)$$

де $\rho_{\text{в}} = 1,197 \text{ кг/м}^3$ – густина повітря при його початковій температурі [14];
 w_y – швидкість в стиснутому перерізі оребреного трубного пучка, $w_y = 12,9 \text{ м/с}$;
 n_p – число горизонтальних рядів труб в пучку (по вертикалі), $n_p = 4$;
 S_p – крок ребер, $S_p = 0,0035 \text{ м}$;
 d_3 – зовнішній діаметр труби, $d_3 = 0,028 \text{ м}$;
 Re – критерій Рейнольдса, віднесений до діаметра труб d_3 .

$$Re = \frac{w_y \cdot d_3}{\nu_{\text{в}}}, \quad (2.27)$$

де $\nu_{\text{в}}$ – кінематична в'язкість повітря; за [14] $\nu_{\text{в}} = 15,761 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

$$Re = \frac{15,4 \cdot 0,028}{15,761 \cdot 10^{-6}} = 27359.$$

Аеродинамічний опір пучка труб за формулою (2.26):

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{1,197}{9,81} \cdot 15,4^2 \cdot 4 \cdot \left(\frac{0,0035}{0,028} \right)^{-0,72} \cdot 27359^{-0,24} = 432 \text{ Па}.$$

Обраний вище вентилятор ЦАГІ КК-2М розвиває напір до 463 Па, а отже він із запасом забезпечить роботу даного апарату.

Витрата енергії для вентилятора:

					Лист
ХІ.Т.00.00.00 ПЗ					29
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

$$N_{\text{в}} = 0,00981 \cdot \frac{V_{\text{в}} \cdot \Delta P}{g \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (2.28)$$

де $V_{\text{в}}$ – сумарна об'ємна витрата повітря, $V_{\text{в}} = 82,3 \text{ м}^3/\text{с}$;
 η – ККД вентилятора, $\eta = 0,68$.

$$N_{\text{в}} = 0,00981 \cdot \frac{82,3 \cdot 432}{9,81 \cdot 0,68} = 52,3 \text{ кВт}.$$

При підборі електродвигуна розрахункову потужність слід збільшити на 10 % для забезпечення пуску двигуна.

Дійсна потужність двигуна:

$$N_{\text{эд}} = 1,1 \cdot N_{\text{в}}, \text{ кВт} \quad (2.29)$$

$$N_{\text{эд}} = 1,1 \cdot 52,3 = 57,5 \text{ кВт}.$$

Установча потужність електродвигуна становить 75 кВт.

Коефіцієнт використання установчої потужності:

$$\varphi = \frac{N_{\text{эд}}}{N_{\text{уст}}}, \quad (2.30)$$

$$\varphi = \frac{57,5}{75} = 0,76.$$

Вибираємо тип електродвигуна 4А250М6УЗ з потужністю 75 кВт, синхронною частотою обертання 1200 об/хв. [16]

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Для розрахунку компресора необхідно підсумувати кількість парів аміаку, одержуваних у випарниках, що дасть нам величину об'єму Q (л/хв.):

$$Q = \frac{26 \cdot 1000}{24 \cdot 9,8} = 110,5 \text{ м}^3/\text{год.} = 1842 \text{ л/хв.}$$

Продуктивність компресора визначаємо за рівнянням [15]:

$$A = Q \cdot \frac{\beta}{\eta}, \quad (2.32)$$

де β – коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості і надійність різних груп компресорів;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) компресора.

За [15] приймаємо професійний компресор, для якого $\beta = 1,5$ і $\eta = 0,65$.

У такому випадку продуктивність складе:

$$A = \frac{1842}{2} \cdot \frac{1,5}{0,65} = 2125 \text{ л/хв.}$$

На даний час на холодильних установках знаходять застосування компресори поршневі і ротаційні. Розвивається виробництво гвинтових компресорних агрегатів.

Слід зазначити, що традиційні поршневі компресори прекрасно себе зарекомендували: прості, надійні, не потребують кваліфікованого персоналу для їх обслуговування, невибагливі. Головне не допускати грубого порушення інструкції і своєчасно проводити заміну масла, злив конденсату, профілактичне обслуговування [15].

										Лист
										31
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ХІ.Т.00.00.00 ПЗ					

Маючи розрахункову величину продуктивності, за [15] вибираємо поршневий холодильний компресор марки ФУУ30 з такими характеристиками: кінцевий тиск 8 МПа; діаметр циліндра / хід поршня 76,6 / 55 мм; теоретична об'ємна подача 2400 л/хв. (0,040 м³/с); холодопродуктивність 108 кВт; споживана потужність 24,5 кВт.

Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

Розрахунок плоскої кришки.

Вихідні дані для розрахунку: розрахунковий внутрішній тиск $p=1,3$ МПа; розрахункова температура стінки $t = 30^{\circ}\text{C}$; матеріал – Сталь 12Х18Н10Т; розрахункова довжина кришки секції $D = 1300$ мм; проникність матеріалу $\Pi = 0,1$ мм/рік; термін служби апарату $\tau = 15$ років.

Розрахункова товщина стінки плоскої кришки, що працює під внутрішнім тиском [17]:

– при розрахункових параметрах

$$s_{IR} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p}{[\sigma] \cdot \varphi}}, \text{ мм} \quad (3.1)$$

де K – коефіцієнт, який визначається в залежності від з'єднання кришки з корпусом; за [17] $K = 0,41$;

K_0 – коефіцієнт ослаблення кришки;

D_R – розрахункова довжина кришки; за [17] $D_R = D = 1300$ мм;

φ – коефіцієнт міцності зварного шва, $\varphi = 1,0$ [17];

$[\sigma]$ – допустиме напруження в робочому стані.

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \text{ МПа} \quad (3.2)$$

де σ^* – нормативна допустима напруга при розрахунковій температурі;

$\sigma^* = 131$ МПа по табл. 1.2 [34] – для сталі ВСтЗпс при температурі 30°C ;

η – поправочний коефіцієнт, що враховує вид заготовки, $\eta = 1,0$ [17].

$$[\sigma] = 131 \cdot 1,0 = 131 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт ослаблення для кришки, що має кілька отворів:

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{2 \cdot d_A}{D_R}\right)^3}{1 - \frac{2 \cdot d_A}{D_R}}}. \quad (3.3)$$

Беремо до уваги отвори під штуцер А, оскільки по діаметру вони більше.

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{2 \cdot 300}{1300}\right)^3}{1 - \frac{2 \cdot 300}{1300}}} = 1,29.$$

Визначаємо розрахункову товщину стінки плоскої кришки при розрахункових параметрах за формулою (3.1):

$$s_{IR} = 0,41 \cdot 1,29 \cdot 1300 \cdot \sqrt{\frac{1,3}{131 \cdot 1,0}} = 50,4 \text{ мм}.$$

– при гідравлічному випробуванні

$$s_{IRи} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p_{и}}{[\sigma]_{и} \cdot \varphi}}, \text{ мм} \quad (3.4)$$

де $p_{и}$ – пробний тиск при гідравлічному випробуванні, МПа;

$[\sigma]_{и}$ – допустиме напруження при гідравлічному випробуванні, МПа.

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні [17]:

$$p_{и} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \\ p + 0,3 \end{array} \right\}, \text{ МПа} \quad (3.5)$$

де $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження для ВСтЗпс при температурі +20°C, обчислюємо його за формулою (3.2):

$$[\sigma] = 140 \cdot 1,0 = 140 \text{ МПа}.$$

Визначаємо пробний тиск при гідравлічному випробуванні за формулою (3.5):

$$p_{и} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 1,3 \cdot \frac{140}{131} = 1,74 \\ 1,3 + 0,3 = 1,6 \end{array} \right\} = 1,74 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження при гідравлічному випробуванні:

$$[\sigma]_{и} = \frac{\sigma_{T20}}{1,1}, \text{ МПа} \quad (3.6)$$

де σ_{T20} – мінімальне значення межі текучості матеріалу при температурі +20°C; за [17] $\sigma_{T20} = 210$ МПа для сталі 12Х18Н10Т.

$$[\sigma]_{и} = \frac{210}{1,1} = 190,91 \text{ МПа}.$$

Визначаємо розрахункову товщину стінки плоскої кришки при гідравлічному випробуванні за формулою (3.4):

$$s_{IRи} = 0,41 \cdot 1,29 \cdot 1300 \cdot \sqrt{\frac{1,74}{190,91 \cdot 1,0}} = 45 \text{ мм.}$$

Збільшення до розрахункової товщини стінки [17]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \text{ мм} \quad (3.7)$$

де c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії, мм;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску, $c_2 = 0$;

c_3 – технологічна прибавка, $c_3 = 0$.

Надбавка для компенсації корозії та ерозії:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau + c_э, \text{ мм} \quad (3.8)$$

де Π – проникність матеріалу, $\Pi = 0,1$ мм/рік;

τ – термін служби апарату, $\tau = 15$ років;

$c_э$ – прибавка для компенсації ерозії, $c_э = 0$.

$$c = c_1 = 0,1 \cdot 15 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина плоскої кришки, що працює під внутрішнім тиском:

$$s_1 = \max(s_{IR}; s_{IRи}) + c, \text{ мм} \quad (3.9)$$

$$s_1 = \max(50,4; 45) + 1,5 = 50,4 + 1,5 = 51,9 \text{ мм.}$$

Округлюємо до більшого стандартного значенням і отримуємо $s_1 = 52$ мм.

Перевіряємо умову застосування розрахункових формул для плоскої кришки:

$$\frac{s_1 - c}{D_R} \leq 0,1, \quad (3.10)$$

$$\frac{44 - 1,5}{1300} = 0,033 < 0,1.$$

Умову застосування розрахункових формул виконано.

4 Монтаж та ремонт апарату

4.1 Монтаж апарату [18, 19]

Монтаж апаратів повітряного охолодження проводиться у максимально зібраному вигляді – уже зі встановленими вузлами трубопроводів та металоконструкціями каркасів. Установці апарату в проектне положення передують його гідравлічне випробовування на міцність та герметичність. При цьому окремо випробовують міжтрубний і трубний простори.

Апарати встановлюють у проектне положення на фундамент або іншу підставу за допомогою монтажних кранів або інших вантажопідйомних механізмів.

Монтаж, пуск, експлуатація і ремонт АПО повинні проводитися із дотриманням правил безпеки, що встановлені для окремих видів робіт, загальних правил безпеки та пожежної безпеки, викладених у відповідних інструкціях, що діють на даному виробництві.

Апарат повітряного охолодження встановлюється на спеціальній технологічній етажерці. Монтаж АПО проводиться у такій послідовності:

1. Виставляють на технологічній етажерці контейнери; з'єднують та закріплюють їх між собою кріпильними болтами;
2. На контейнер встановлюють дифузори; з'єднують та закріплюють їх між собою кріпильними болтами;
3. Встановлюють та закріплюють теплообмінні секції на штирі дифузорів із відповідним маркуванням;
4. Перевіряють якість виготовлення шпильок, гайок та шайб: різьба повинна бути без забруднень, подряпин, зривів тощо; поверхня на нарізаній частині шпильок – гладкою; гайка, надіта на різьблення шпильки, не повинна мати слабину.

5. Затягують усі болтові з'єднання, використовуючи стандартні ключі, без подовжувачів;

6. Перед затягуванням гайок зробити ретельний огляд привалочних поверхонь фланців – дефекти на цих поверхнях не допускаються.

7. Перевіряють установку в теплообмінній секції відповідних фланців і прокладок на штуцерах входу і виходу робочого середовища.

8. Також слід перевіряти розмір і стан прокладок на відповідність їх розмірам привалочних поверхонь стикуючих фланців. Далі перевірити правильність установки прокладок, переконатися в наявності повного комплекту шпильок в отворах фланців і в тому, що прокладки увійшли в пази. Неповний комплект шпильок або перекос фланців не допускається. Також забороняється підтяжка шпильок під час роботи апарату.

Виявлені під час монтажу дефекти та методи їх усунення повинні бути зареєстровані в паспорті АПО.

Виконати під'єднання АПО до всіх необхідних комунікацій і арматури. Очистити від бруду і сторонніх предметів підводи і відводи трубопроводів перед приєднанням до апарату.

Провести заземлення апарату у відповідності вимогам ПУЕ.

Правильність установки апарату на фундамент вивіряють: теплообмінних секцій – гідростатичним або брусковим рівнем; осей опорних стійок – схилом; відхилення площин кронштейнів опорних стійок від розташування в одній горизонтальній площині – по натягнутій струні; відхилення від горизонтальності приводу вентилятора – брусковим рівнем.

При установці колеса вентилятора повинен бути витриманий рівномірний радіальний зазор в межах допустимих розмірів. При центруванні валів вимірювання слід проводити в чотирьох положеннях при спільному повороті напівмуфт на 90°. Центрування приводу вважається правильним, якщо різниця діаметрально протилежних розмірів перекоосу і паралельного зміщення осей не перевищують 0,06 мм (при діаметрі муфти 250 мм).

Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

4.2 Ремонт апарату [18,19]

Апарати повітряного охолодження часто працюють в умовах підвищеної корозійної активності. Для боротьби з корозійними середовищами в трубних секціях АПО, зазвичай, використовують біметалічні труби із внутрішніми трубами із латуні чи сталі. Трубні решітки також можуть бути виготовлені біметалічними – із захисним шаром латуні товщиною 8 мм.

Стан зовнішньої поверхні елементів апаратів повітряного охолодження, працюючих під тиском, перевіряється у наступних місцях: у місці приварювання фланців; у місці перетину зварних швів; зовнішньої поверхні трубного простору.

Перевіряються наступні дефекти: на поверхні – тріщини, надриви, підвищена швидкість корозії стінок; на зварних швах – дефекти зварювання, тріщини, надриви тощо.

Апарат, який підлягає розборці для ремонту і очищення, повинен бути зупинений, звільнений від теплоносіїв, відключений і заглушений від іншої апаратури, пропарений і пройдений азотом. Повинні бути створені нормальні умови, а саме: тиск – атмосферний, температура – знижена до нормальної, вибухо- і пожежонебезпечні середовища – відсутні. У деяких випадках пропарку і промивку чередують кілька разів. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°С.

Найбільш поширеними дефектами у апаратів з трубною системою є:

1. Виривання трубок із трубних решіток. Дана проблема, зазвичай, виникає через нерівномірне розширення трубок і корпусу. Варіанти вирішення:
 - зачищення місця розриву і обварювання трубки заново;
 - висвердлювання трубки і установка нової трубки;
 - зачищення і заглушка трубки.

Якщо встановлюються заглушки на дефектні трубки, необхідно враховувати, що опір даної ділянки зростає, а також трохи погіршується теплообмін. За-

Подібні роботи слід проводити на місці експлуатації. У разі необхідності фахівці повинні виїхати на місце і провести цю роботу, але в більшості випадків ці операції виробляє експлуатаційний персонал.

5. Покриття вапном (накипом). Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв є рідина (як у нашому випадку – вода) з невідповідним для даного процесу хімічним складом (наприклад, надмірно мінералізована). Варіанти вирішення: очистка за допомогою спеціальних хімічних засобів.

Надійність ліквідації поверхневих дефектів контролюють магнітною або ультразвуковою дефектоскопією. Допускається глибина пошкодження в межах 10–20 % товщини стінки в залежності від розмірів ушкодження.

Усі поверхні ущільнювачів слід контролювати магнітною або ультразвуковою дефектоскопією на відсутність тріщин. Після ремонту конденсатора його піддають гідрравлічним або пневматичним випробуванням.

						XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
							42
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			

5 Охорона праці

Параметри, що визначають пожежну безпеку горючих газів, рідин і твердих речовин [20, 21]. Поняття про процеси горіння та вибуху [22].

Пожежна безпека речовин, тобто ступінь ймовірності виникнення горіння їх при рівних умовах, визначається різними параметрами. Зазвичай, при оцінці пожежної безпеки речовин застосовуються не всі параметри, а тільки основні з них, які досить повно характеризують речовини.

Пожежна безпека **горючих газів** характеризується температурою самозаймання і областю займання, тобто концентраційними межами заpalення. Температура самозаймання більшості газів лежить в межах 200–600°C. Виняток становить фосфористий водень, який на повітрі самозаймається. Чим нижче температура самозаймання газу, тим він небезпечніший, оскільки в цьому випадку невеликі джерела займання можуть викликати вибух його сумішей з повітрям.

Пожежна безпека **горючих рідин** характеризується температурою самозаймання, областю займання, тобто концентраційними і температурними межами займання, температурою спалаху і займання. Температура самозаймання більшості рідин лежить в тих же межах температур, як і у газів, за винятком рослинних масел і скипидару, які, перебуваючи на поверхні волокнистих і порошкоподібних речовин, здатні самозайматися, а також металорганічних з'єднань (три-ізо-бутан-алюміній, какоділ, цінкметіл, цінкетіл та ін.), які при зіткненні з повітрям самозаймаються.

На відміну від газів концентрації парів рідин із повітрям залежать від температури рідин, тому область займання їх можна висловлювати через температуру. Такими параметрами є температурні межі займання.

Нижньою температурною межею займання називається та найменша температура рідини, при якій вона, випаровуючись, створює з повітрям суміш

парів, здатну займатися при піднесенні джерела займання. Концентрація парів рідини при нижній температурній межі займання дорівнює нижній концентраційній межі займання.

Верхньою температурною межею займання називається та найбільша температура рідини, при якій вона, випаровуючись, створює з повітрям суміш, здатну займатися при піднесенні джерела займання. При більш високій температурі утворюються суміші, які в закритій посудині горіти нездатні. Концентрація парів рідини при верхній температурній межі дорівнює верхній концентраційній межі займання. У табл. 5.1 наведені температурні межі займання деяких рідин.

Таблиця 5.1 – Температурні межі займання рідин

Рідини	Температурні межі, °С		Рідини	Температурні межі, °С	
	нижня	верхня		нижня	верхня
Ацетон	-20	+6	Масло солярове	+116	+147
Бензил А-74	-36	-7	Масло трансформаторне	+122	+163
Керосин тракторний	+4	+35	Скипидар	+32	+53
Керосин освітлювальний	+45	+86	Толуол	0	+30

Нижня температурна межа займання інакше називається температурою спалаху. За температури спалаху всі рідини діляться на легкозаймисті та горючі. Легкозаймистими називаються рідини, що мають температуру спалаху до 45°C, а горючими – вище 45°C.

Температуру спалаху рідини можна визначити за формулою:

$$P_{T.B} = \frac{P_{ОБЩ}}{1 + (N - 1) \cdot 4.76} \quad (5.1)$$

Знайдену тиску насиченої пари в таблицях знаходять відповідну температуру рідини. Ця температура і є температурою спалаху рідини.

Температуру спалаху можна також визначити за величиною нижньої концентраційної межі займання:

$$P_{T.B} = \frac{v_{н.п} P_{ОБЩ}}{100} \quad (5.2)$$

При температурі спалаху відбувається тільки згорання утвореної суміші парів, а сама рідина не горить. Вона спалахує при температурі займання. Температурою займання називається та найменша температура рідини, при якій від піднесеного джерела спалахують пари і продовжує горіти рідина. У легкозаймистих рідин температура займання на 1–5°C перевищує температуру спалаху. У горючих рідин ця різниця доходить до 30°C і вище.

Пожежна небезпека **твердих речовин** характеризується температурою самозаймання і температурою займання. Температура самозаймання більшості твердих речовин лежить в тих же межах, що і газів. Однак багато твердих речовин мають температуру самозаймання до 50°C, тому відносяться до самозаймистих (білий фосфор, сірчисті метали, порошки металів, кам'яне вугілля, торф та ін.).

Багато твердих речовин при нагріванні розкладаються з виділенням парів і газів. Найменша температура твердих речовин, при якій утворюються пари і гази спалахують і продовжують горіти при піднесенні до них джерела займання, називається температурою займання. Температура займання деяких твердих речовин приведена в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Температура займання деяких твердих речовин

Найменування матеріалів	Температура займання, °С	Найменування матеріалів	Температура займання, °С
Повсть будівельна	287	Тирса соснова	214
Деревина соснова	236	Плита деревоволокниста	222
Лінолеум гумовий	308	Плита торф'яна	165
Лінолеум хлорвініловий	380	Руберойд РМ-350	303

Відповідно до ГОСТ 12.1.044-89 «Вогнестійкість речовин і матеріалів» твердими називаються матеріали, температура плавлення або розкладання яких перевищує 50°C, а також речовини, що не мають температури плавлення (деревина, тканини та ін.).

Тверді горючі матеріали (ТГМ) можна класифікувати за кількома ознаками:

- за хімічним складом;
- за поведінкою при нагріванні.

До вуглеводнів відносять природні, штучні і синтетичні полімерні матеріали, до складу яких входять вуглець, водень, азот і кисень. За структурою вуглеводні – це матеріали однорідної будови.

В окрему підгрупу відносять природні органічні речовини, основою яких служить целюлоза. До них відносяться полімерні матеріали рослинного походження (деревина, бавовна та ін.), які на відміну від штучних та синтетичних полімерів не є однорідними матеріалами, а сумішшю природних полімерів. Поведінка в умовах пожежі всіх рослинних матеріалів схоже, і з цієї причини їх об'єднують в одну групу – целюлозовмісні матеріали.

Елементорганічні з'єднання – органічні речовини, до складу яких входять такі елементи, як сірка, фосфор, кремній, галоїди і метали. В умовах пожежі елементорганічні з'єднання утворюють особливо токсичні речовини і з цієї причини їх виділяють в особливу групу.

Неорганічні тверді горючі речовини – це метали і неметали. Практично всі метали за нормальних умов окислюються на повітрі. Але до горючих відносяться тільки ті, які можуть займатися на повітрі від відкритого джерела запалювання середньої потужності і самостійно горіти після його видалення. До найбільш пальних відносяться лужні і лужноземельні метали.

До неметалів відносять фосфор, миш'як, кремній, сірку. Механізм їх займання багато в чому нагадує особливості горіння металів.

Горіння – це фізико-хімічний процес взаємодії горючої речовини і окислювачем, що супроводжується виділенням теплоти і випромінюванням світла. У звичайних умовах це процес окислення або з'єднання горючої речовини з киснем, що знаходиться у вільному стані в повітрі або хімічних сполуках у зв'язаному стані.

Деякі речовини можуть горіти в атмосфері хлору (водень), в парах сірки (мідь) або вибухати без кисню (ацетилен, хлористий азот тощо).

Для харчових підприємств найбільш характерно горіння, що відбувається при окисленні горючих речовин киснем повітря і виникає при наявності джерела запалювання з достатньою для займання температурою горіння. Горіння припиняється при відсутності одного із цих умов. Слід мати на увазі, що для харчових підприємств характерні всі різновиди горіння, в тому числі і ті, що виникають без зовнішнього джерела теплоти: спалах, займання та самозаймання.

Спалах – процес швидкого згоряння суміші газів або парів горючої речовини з повітрям від зовнішнього джерела теплоти без переходу в горіння.

Займання – загоряння газів або парів горючої речовини від зіткнення з джерелом теплоти з подальшим розвитком процесу горіння.

Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Самозаймання – займання без стороннього джерела теплоти, що виникає при самотійному розкладанні пального речовини з утворенням парів і газів, що з'єднуються з киснем повітря.

Розрізняють два основних види горіння: повне і неповне. Повне відбувається при достатній або надлишковій кількості кисню і в основному супроводжується утворенням парів води і діоксиду вуглецю. Неповне відбувається при його нестачі і більш небезпечне, оскільки при цьому утворюється токсичний оксид вуглецю та інші гази.

Якщо кисень проникне в зону горіння внаслідок дифузії, що утворюється, полум'я називається дифузійним, і воно має три зони. Гази або пари, що знаходяться в зоні 1, не горять (температура не перевищує 500°C), в зоні 2 вони згорають частково, в зоні 3 повністю, і температура полум'я тут найбільш висока.

Горіння також буває гомогенним і гетерогенним. При гомогенному горінні всі реагуючі речовини мають однаковий агрегатний стан, наприклад газоподібний. Коли вони знаходяться в різних агрегатних станах і є межа розділу фаз в горючій системі, горіння є гетерогенним. Гетерогенне горіння, пов'язане з утворенням потоку горючих газоподібних речовин, є одночасно і дифузійним.

Залежно від швидкості поширення полум'я горіння може відбуватися у формі дефлаграційного горіння: вибух і детонація. При першому нормальна швидкість горіння, що представляє швидкість руху полум'я на границі між згорілою і незгорілою частинами суміші, змінюється від декількох сантиметрів до декількох метрів в секунду. Так, наприклад, швидкість горіння 10,5 % суміші метану з повітрям 37 см/с.

Повільне рівномірне поширення горіння стійко лише в тому випадку, якщо воно не супроводжується підвищенням тиску. Якщо воно відбувається в замкнутому просторі або коли вихід газу утруднений, продукти реакції не тільки нагрівають прилеглий до фронту полум'я шар, але і, розширюючись за

11. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
12. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
13. Марочник сталей и сплавов / Колосков М. М., Долбенко Е. Т., Каширский Ю. В. и др. Под общей ред. А. С. Зубченко. – М. : Машиностроение, 2001. – 672 с.
14. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.
15. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения / А. Н. Бессонный, Г. А. Дрейцер, В. Б. Кунтыш и др.; Под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. – СПб.: Недра, 1996. – 512 с.
16. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
17. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В. В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с.
18. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.
19. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.
20. Параметры, определяющие пожарную опасность веществ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://studfile.net/preview/3617529/page:4/>

Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

21.Классификация твердых горючих материалов (ТГМ) [Электронный ресурс]. –

Режим доступа : <http://edu-mns.org.ua/avtomat/lessons/1/6.html>

22.Процессы горения и взрыва [Электронный ресурс]. – Режим доступа :

http://ohrana-bgd.narod.ru/edaproiz_81.html

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52