

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра "Процеси та обладнання хімічних
і нафтопереробних виробництв"

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 хладону-12

Виконав:

студент групи ХМдн – 54р

Омельченко Артем Альбертович

_____ підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

_____ підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

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

Курс 3 Група ХМдн – 54р

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студент Омельченко Артем Альбертович

1 Тема проекту: Холодильна установка. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів хладону-12

2 Вихідні дані: Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів хладону-12 у кількості 8000 кг/год. під абсолютним тиском 7 атм. Температура атмосферного повітря становить 15°C.

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

1. Технологічна схема холодильної установки – 1,0 арк.
2. Складальний кресленик апарату повітряного охолодження – 1,0 арк.
3. Складальний кресленик дифузора – 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. Бахмат Г. В. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях / Г. В. Бахмат, Н. В. Еремин, О. А. Степанов. СПб. : Недра, 1994. – 512 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

підпис

доц. Юхименко М.П.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 47 с., 5 рис., 1 додаток, 21 джерело.

Графічні матеріали: технологічна схема холодильної установки, складальний кресленик апарату повітряного охолодження, складальний кресленик дифузора – усього 3 аркуші графічної частини формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Холодильна установка. Розробити апарат повітряного охолодження для конденсації парів хладону-12».

У роботі наведено опис технологічної схеми холодильної установки. Розглянуто теоретичні особливості процесу конденсації парогазових сумішей, вивчено конструкцію та принцип дії апарату повітряного охолодження типу АПГ, 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 питання «Навчання працівників безпечних способів праці. Зміст та види інструктажів, хто і коли їх проводить».

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ХОЛОДИЛЬНА УСТАНОВКА, ХЛАДОН-12, КОНДЕНСАЦІЯ, ПОВІТРЯ, ОРЕБРЕННЯ, СПОСОБИ ПРАЦІ.

Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми хладонної холодильної установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	9
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	14
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату	18
2.1 Технологічні розрахунки	18
2.2 Конструктивні розрахунки	24
2.3 Аеродинамічний опір трубного пучка	26
2.4 Вибір допоміжного обладнання	27
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність	29
4 Монтаж та ремонт апарату	33
4.1 Монтаж апарату	33
4.2 Ремонт апарату	37
5 Охорона праці	38
Література	45
Додаток – Специфікації до графічної частини	

						ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ									
	Зм	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Холодильна установка. Апарат повітряного охолодження Пояснювальна записка				Літ.	Лист	Листів			
	Розроб.		Омельченко							к	р	б	4	47	
	Перев.		Юхименко							СумДУ, ХМдн – 54р					
	Т. контр.														
	Н. контр.														
	Затв.		Склабінський												

Вступ

Початком розвитку холодильного машинобудування в широких розмірах можна вважати створення Карлом Лінде у 1874 році першої аміачної парокомпресійної холодильної машини. Із тих пір з'явилося багато різновидів холодильних машин, які можна згрупувати за принципом роботи наступним чином:

- парокомпресійні (спрощено – компресорні), зазвичай з електроприводом;
- тепловикористовуючі холодильні машини: абсорбційні холодильні машини і пароежекторні;
- повітряно-розширювальні, які за температури нижче $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ більш економічні за компресорні та термоелектричні, які безпосередньо вбудовуються у прилади.

Хладон R12 в хімії іменується як – діфтордіхлорметан. Хладон-12 (формула: CF_2Cl_2) – це безбарвний газ, що має специфічний запах і відноситься до групи хлорфторвуглеців. На даний час це один із найбезпечніших в експлуатації, а тому і найбільш розповсюджених холодоагентів. Він не є вибухонебезпечним, але за температури більше $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ розкладається і утворює хлорид водню, фтористий водень і отруйний газ фосген. Хладон-12 характеризується підвищеною плинністю, яка сприяє його проникненню через найдрібніші пори. Наприклад, він легко проходить навіть через пори чавуну. Завдяки своїй високій плинності холодильні масла R12 проникають в усі деталі, і прискорюють їх зношення при терті. У разі коли об'ємної частки холодоагенту в повітрі більше 30 % може спостерігатися дефект кисню. R12 не проводить електричний струм, погано розчинний у воді, але розчиняється в маслі [1].

Холодоагент R12 застосовують в одноступеневих холодильних механізмах, кондиціонерах, повітроохолоджувальних холодильних машинах, в побутових холодильниках. Він також використовується у якості газового діелектрика, розчинника чи пароутворювача при отриманні пінопластів [2].

У зв'язку з дефіцитом прісної води, високою вартістю водооборотного водопостачання, втратами та забрудненням води на хімічних, газо- і нафтопереробних виробництвах усе ширше застосовують апарати повітряного охолодження (АПО) як досить ефективне та надійне теплообмінне обладнання. У якості теплоносія, що віднімає тепло від охолоджуваних середовищ, в АПО використовують атмосферне повітря, яке надходить в зону теплообміну мимовільно за рахунок природної тяги або подається примусово вентиляторами. Застосування АПО дозволяє розміщувати їх максимально наближеними до об'єктів тепловикористання та незалежно від джерел водопостачання [3].

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [4].

										Лист
						ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ				6
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми хладонної холодильної установки

Холодильні машини і установки призначені для штучного зниження і підтримки низької температури (нижче температури навколишнього середовища) від $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і до $-153\text{ }^{\circ}\text{C}$ в заданому охолоджуваному об'єкті. Машини та установки для створення більш низьких температур називаються криогенними. Відведення і перенесення тепла здійснюється за рахунок споживаної при цьому енергії. Холодильна установка виконується за проектом у залежності від проектного завдання, що визначає охолоджуваний об'єкт, необхідного інтервалу температур охолодження, джерел енергії та видів охолоджуючої середовища (рідка або газоподібна) [5].

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. Холодильна установка може бути встановлена в приміщенні, на відкритому повітрі, на транспорті і в різних пристроях, де необхідно підтримувати задану знижену температуру і видаляти зайву вологість повітря [5].

Система теплообміну з охолоджуваного об'єктом може бути з безпосереднім охолодженням холодильним агентом, по замкнутій системі, по розімкнутій, як при охолодженні сухим льодом, або повітрям в повітряної холодильної машині. Замкнута система може також бути з проміжним хладоносителем, який переносить тепло від охолоджуваного об'єкта до холодильній установці.

Кожний різновид машин має свої особливості, за якими обирається їх галузь застосування. Технологічна схема хладонної холодильної установки представлена на рис. 1.1.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

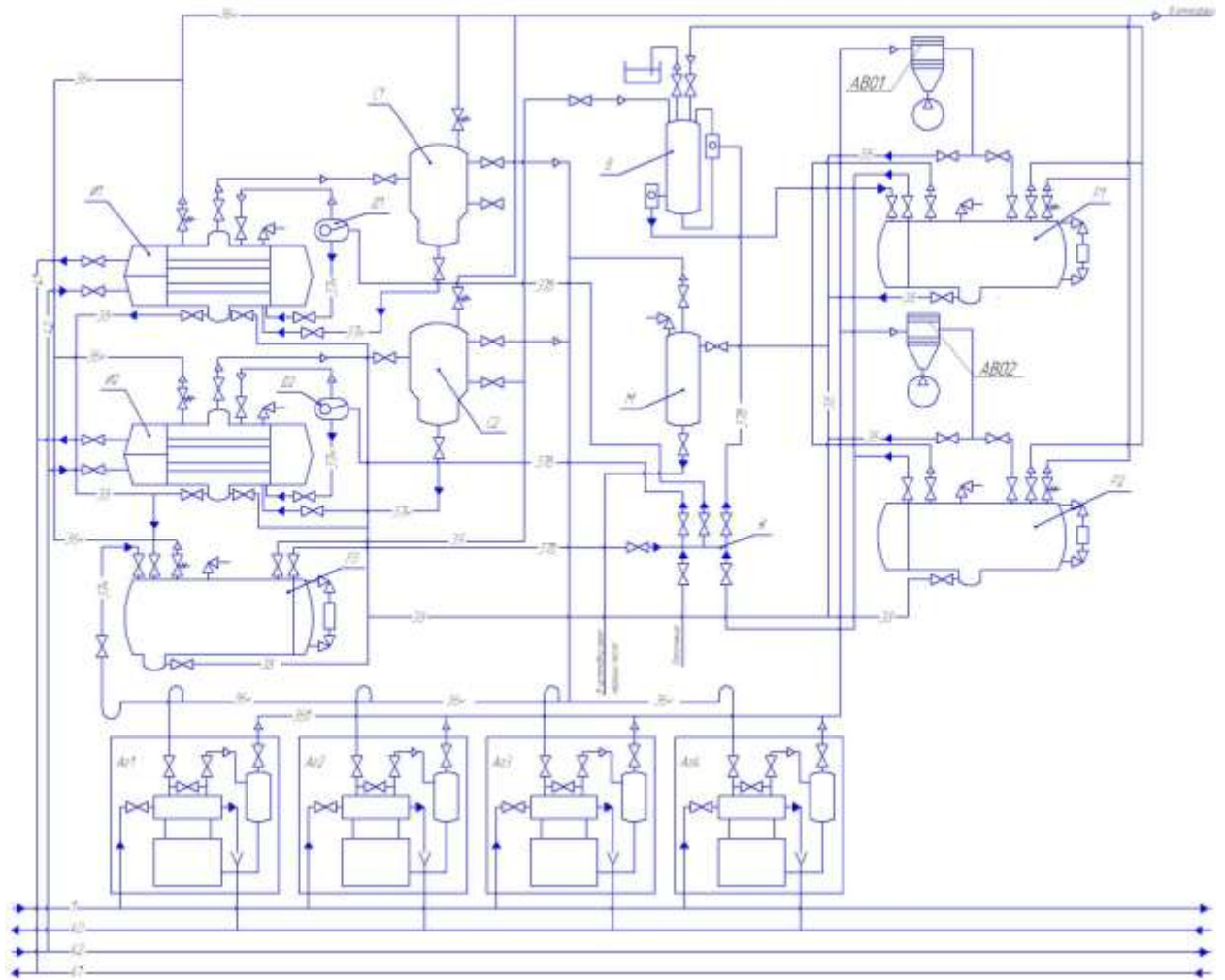


Рисунок 1.1 – Технологічна схема хладонної холодильної установки

Принцип роботи даної холодильної установки полягає у наступному. Пари хладону-12 із випарників *И1* та *И2* відсмоктуються компресорами *Аг1–Аг4*. Після чого вони надходять у конденсатори *АВО1* та *АВО2*, де конденсуються, віддаючи тепло атмосферному повітрю. Далі, уже зріджений хладон-12, через дросельні пристрої *Д1* і *Д2* спрямовується назад у випарники *И1* та *И2*, де знову перетворюється в пар.

Потік пара, що йде з випарника, зазвичай, містить краплі рідкого хладону-12, потрапляння якого в систему циліндрів компресорних машин створює небезпеку аварійного режиму роботи, особливо під час пуску установки або при різкому зростанні теплового навантаження. Для запобігання усмоктування вологості пари, на лінії між випарником і компресором встановлено відокрем-

лювачі рідини $C1$ і $C2$. У потоці пари з компресора міститься значна кількість мастила. Масляна плівка, яка потрапляє на поверхні теплообмінних апаратів, значно знижує інтенсивність теплообміну. У масловіддільнику M велика частина масла затримується і, накопичившись, повертається в картер компресорної машини.

Зворотний клапан розвантажує компресор від високого тиску нагнітання при автоматичній зупинці, а також захищає від прориву робочого середовища при аваріях.

Розташовані нижче конденсаторів лінійні ресивери $P1$ і $P2$, по суті являють собою збірники конденсату і створюють запас робочого середовища. Автоматичний дросельний пристрій постійно забезпечує оптимальне заповнення випарника рідиною на рівні верхнього ряду труб.

1.2 Теоретичні основи процесу

У конденсаторах основним завданням процесу є конденсація пари (або окремих газів), при цьому відбувається процес фазового переходу гарячого теплоносія та одержання рідини за рахунок передачі тепла від гарячого теплоносія до холодного та нагрівання останнього [3].

Залежно від розміщення теплообмінної поверхні (трубного пучка) розрізняють апарати повітряного охолодження:

- горизонтальні (АПГ);
- вертикальні (АПВ);
- зигзагоподібні (АПЗ);
- шатрові (АПШ).

Оребрені ззовні теплообмінні труби внутрішнім діаметром 21–22 мм і довжиною від 1,5 до 8 м розміщені в шаховому порядку та закріплені в трубних дошках розвальцьовуванням та (або) приваркою. Труби бувають монометалічними або біметалічними, при цьому внутрішні несучі труби виготовляють із ву-

									Лист
									9
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ				

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

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

δ_{CT} – товщина стінки теплопередаючої поверхні, м;

λ_{CT} – 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]:

$$t_{СЕР} = \theta_{СЕР} \pm \Delta t_{СЕР}. \quad (1.4)$$

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

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

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 [10].

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (1.6)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

l – визначальний геометричний розмір, м;

λ – теплопровідність теплоносія, Вт/(м·К).

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія:

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}, \quad (1.7)$$

де w – швидкість теплоносія, м/с;

ρ – густина теплоносія, кг/м³;

μ – динамічна в'язкість теплоносія, Па·с.

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}, \quad (1.8)$$

де c – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К).

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах і каналах рекомендуються наступні критеріальні рівняння [10]:

– для ламінарного режиму

$$Nu = 0,74 \cdot (Re \cdot Pr)^{0,2} \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,1}, \quad (1.9)$$

де Gr – критерій Грасгофа, який характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції.

– для перехідного режиму

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43}; \quad (1.10)$$

– для турбулентного режиму

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
-----	------	----------	-------	------

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

В апаратах повітряного охолодження (рис. 1.2) охолоджуючим агентом є потік атмосферного повітря, яке подається вентилятором 5.

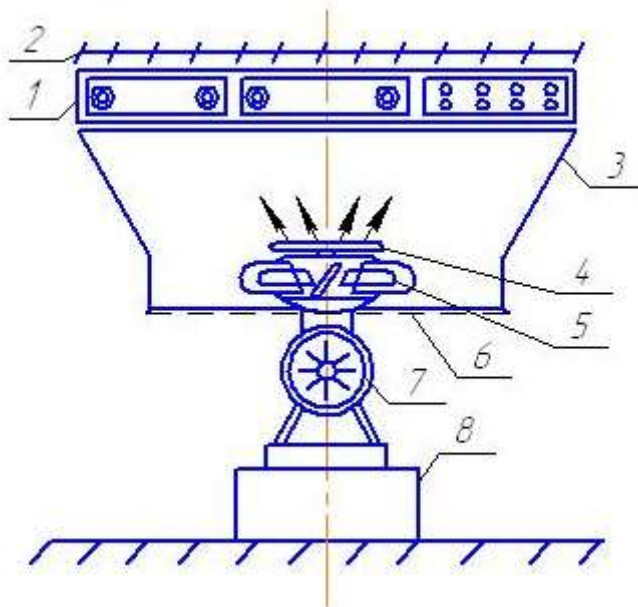


Рисунок 1.2 – Схема апарата повітряного охолодження з горизонтальним розміщенням труб типу АПГ:

- 1 – трубна секція; 2 – жалюзі; 3 – дифузор; 4 – колектор для подачі води;
5 – вентилятор; 6 – захисна решітка; 7 – електродвигун; 8 – фундамент

Принцип роботи апарату полягає у наступному. Потік повітря, який нагнітається вентилятором 5 і обдуває трубні секції 1, конденсуючи при цьому хладон-12, який рухається всередині труб. Трубні секції АПО можуть бути розміщені горизонтально або під нахилом залежно від величини поверхні теплообміну, призначення та компоновання апарата. При високій температурі повітря його охолоджують, випаровуючи воду, яка подається через колектор 4. Для зміни режиму роботи АПО повертають лопаті робочого колеса вентилятора 5 або жалюзі 2.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

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. 1.3) 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.

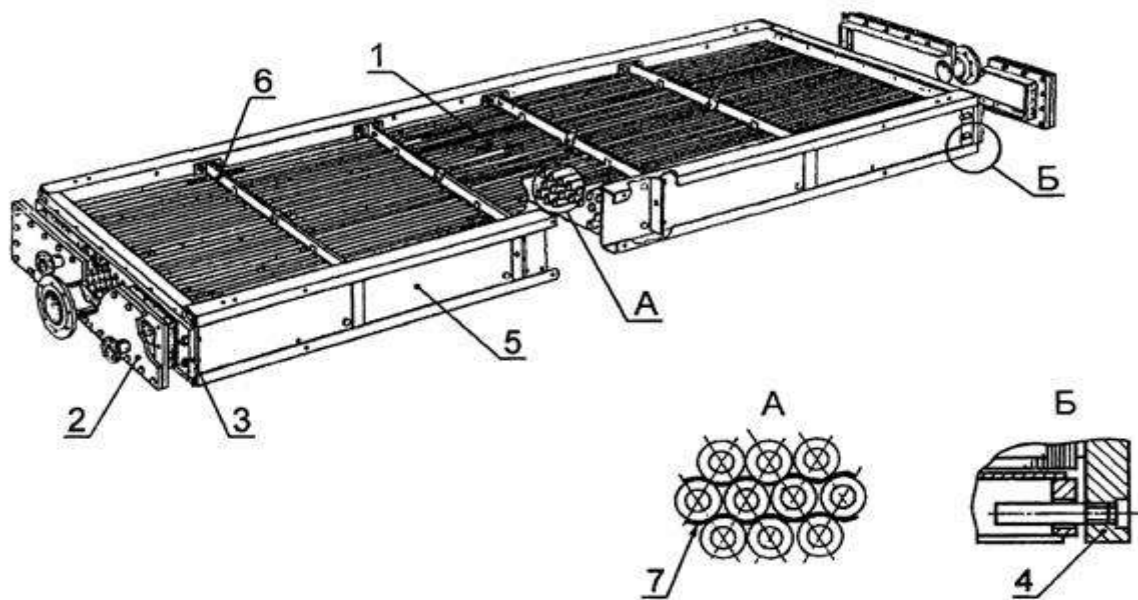


Рисунок 1.3 – Конструкція теплообмінної секції: 1 – трубний пучок; 2 – кришка камери; 3, 4 – нерухома і рухома трубні дошки; 5 – бокова стінка; 6 – балка; 7 – дистанційний елемент

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.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

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. 1.4) з коефіцієнтом оребрення $\phi = 9$.

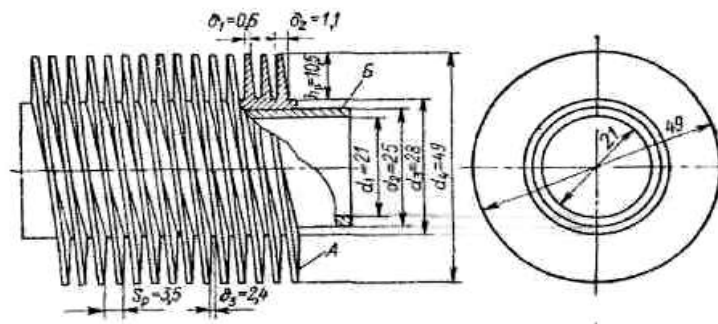


Рисунок 1.4 – Схема оребреної біметалевої труби

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. При виборі матеріалів для апаратури необхідно керуватися галузевим стандартом ОСТ 26-291-71.

Для виготовлення основних деталей та вузлів проектного АПО слід вибирати метали, швидкість корозії яких не перевищує 0,1–0,5 мм/рік [11].

За [12] вибираємо сталь 16ГС, 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 проектового апарату повітряного охолодження приймаємо біметалічні труби виконання БЗ. Така труба складається із внутрішньої (сталевій) і зовнішньої (алюмінієвої) 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.

Оскільки холодоагент R12 розчиняє багато органічних речовин, тому при виготовленні ущільнень використовуємо спеціальну гуму – севанітіл-пароніт [11].

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Технологічні розрахунки

Розрахунок проводимо у відповідності до методики, яку представлено у [13]. Пари хладону-12 надходять у теплообмінний апарат уже при температурі конденсації. При тиску 7 ат. температура конденсації/випаровування хладону-12 становить 32 °С [14].

Таким чином, теплове навантаження конденсатора розраховується як:

$$Q = Q_{\text{конд}} = G_{\text{п}} \cdot r_{\text{г}}, \quad (2.1)$$

де $G_{\text{п}}$ – масова витрата хладону-12, кг/с;

$r_{\text{г}}$ – питома теплота конденсації хладону-12, кДж/кг.

$$Q = \left(\frac{8000}{3600} \right) \cdot 167 = 371 \text{ кВт}.$$

Орієнтовна поверхню теплообміну складе:

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

де q – теплонапруженість апарату, Вт/м².

При конденсації парогазової суміші $q = 400\text{--}900$ Вт/м² [8].

$$F_{\text{max}} = \frac{371 \cdot 10^3}{450} = 824 \text{ м}^2.$$

За аеродинамічною характеристикою вентилятора [15] визначаємо величини, віднесені до стандартних умов (кут установки лопатей 15°):

– об'ємна витрата повітря $V_0 = 210000$ м³/год.;

– напір $P_{\text{ВО}} = 36 \cdot 9,81 = 353$ Па.

Об'ємна витрата повітря, його густина та напір вентилятора за робочих умов (температура 293 К; атмосферний тиск 101325 Па):

$$V_B = V_0 \cdot \frac{T \cdot P_0}{P \cdot T_0}; \quad (2.3)$$

$$\rho = \rho_0 \cdot \frac{P \cdot T_0}{T \cdot P_0}; \quad (2.4)$$

$$P_B = P_{B0} \cdot \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (2.5)$$

де ρ_0 – густина повітря за температури 273 К, кг/м^3 .

$$V_B = 210000 \cdot \frac{293}{273} = 225385 \frac{\text{м}^3}{\text{год.}}$$

$$\rho_B = 1,29 \cdot \frac{273}{293} = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$P_B = 353 \cdot \frac{1,2}{1,29} = 328 \text{ Па.}$$

Масова витрата повітря одним вентилятором:

$$G_B = V_B \cdot \rho_B; \quad (2.6)$$

$$G_B = 225385 \cdot 1,2 = 270462 \frac{\text{кг}}{\text{год.}}$$

Визначаємо кінцеву температура повітря:

$$t_{2К} = t_{2П} + \frac{Q}{c_B \cdot G_B}, \quad (2.7)$$

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

c_v – теплоємність повітря за робочих умов, кДж/(кг·К).

$$t_{2к} = 15 + \frac{371 \cdot 10^3 \cdot 3600}{1,005 \cdot 10^3 \cdot 270462} = 20^\circ\text{C}.$$

Температурну схему процесу конденсації хладону-12 представлено на рис. 2.1.

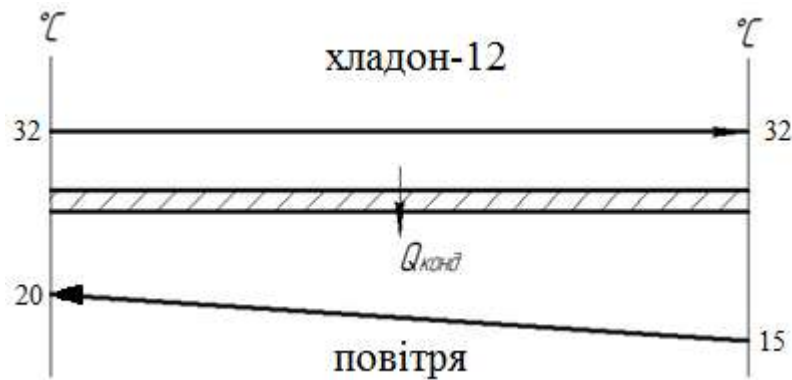


Рисунок 2.1 – Температурна схема процесу конденсації хладону-12

Середня різниця температур визначається за середньо логарифмічною залежністю:

$$\Delta t_{\text{СЕР}} = \frac{\Delta t_{\text{Б}} - \Delta t_{\text{М}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{Б}}}{\Delta t_{\text{М}}}}, \quad (2.8)$$

де $\Delta t_{\text{Б}}$ і $\Delta t_{\text{М}}$ – відповідно більша та менша різниці температур, $^\circ\text{C}$.

$$\Delta t_{\text{Б}} = t_1 - t_{2н} = 32 - 15 = 17^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{М}} = t_1 - t_{2к} = 32 - 20 = 12^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{СЕР}} = \frac{17 - 12}{\ln \frac{17}{12}} = 14,4^\circ\text{C}.$$

За [5] вибираємо стандартизований горизонтальний апарат типу АПГ із трьома теплообмінними секціями, який має наступні характеристики: зовнішня обрєбрена поверхня 875 м^2 ; довжина теплообмінних труб 4 м; число труб в одному ході 246 шт.; число ходів по трубах 1; число рядів труб в секції 4; коефіцієнт орєбрення 9.

Для нагнітання повітря застосовується осьовий вентилятор типу В-О25-К4 з такими характеристиками: діаметр вентилятора 2,5 м; число лопатей 4; напір 180 Па; частота обертання 200 об/хв.; споживана потужність 10 кВт.

Далі визначаємо швидкість повітря у найбільш вузькому перерізі пучка труб:

$$w_{\text{шт}} = \frac{V_B}{f_{\text{шт}}}, \quad (2.9)$$

де $f_{\text{шт}}$ – сумарна поверхня найбільш вузького перерізу, м^2 .

$$w_{\text{шт}} = \frac{62,6}{5,35} = 11,7 \text{ м/с}.$$

Критерій Прандтля для повітря:

$$\text{Pr} = \frac{c_B \cdot \mu_B}{\lambda_B}, \quad (2.10)$$

$$\text{Pr} = \frac{1,005 \cdot 10^3 \cdot 18,5 \cdot 10^{-6}}{2,65 \cdot 10^{-2}} = 0,7.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря при коефіцієнті орєбрення $\phi = 9$:

$$\alpha_2 = C_2 \cdot \lambda_B \cdot \left(\frac{w \cdot \rho_B}{\mu_B} \right)^{0,65} \cdot \text{Pr}^{0,35}, \quad (2.11)$$

де $C_2 = 0,5$ – коефіцієнт, що залежить від орєбрення труб.

$$\alpha_2 = 0,5 \cdot 2,65 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{11,7 \cdot 1,2}{18,5 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,65} \cdot 0,7^{0,35} = 78 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{np} = C_1 \cdot \alpha_2, \quad (2.12)$$

де $C_1 = 0,8$ – коефіцієнт, що залежить від оребрення труб.

$$\alpha_{np} = 0,8 \cdot 78 = 62,4 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони хладону-12 [10]:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_1}{d_1}, \quad (2.13)$$

де Nu – критерій Нусельта;

λ_1 – коефіцієнт теплопровідності хладону-12, Вт/(м·К);

d_1 – внутрішній діаметр труби.

Фізичні параметри хладону-12 при температурі його конденсації наступні [14]: густина 1142 кг/м³; коефіцієнт теплопровідності 0,79 Вт/(м·К); теплоємність 1,3 кДж/(кг·К); кінематична в'язкість $1,9 \cdot 10^{-7}$ м²/с.

Дійсна швидкість хладону-12 у трубах:

$$w_1 = \frac{n_x \cdot V_1}{s_1 \cdot n_c}, \quad (2.14)$$

де n_x – число ходів по трубах;

V_1 – об'ємна витрата хладону-12, м³/с;

s_1 – загальна площа внутрішнього трубного простору, м²;

n_c – кількість секцій.

Об'ємна витрата хладону-12 становить:

$$V_1 = \frac{G}{\rho}; \quad (2.15)$$

$$V_1 = \frac{8000}{3600 \cdot 1142} = 1,95 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Загальна площа внутрішнього трубного простору однієї секції:

$$s_1 = n \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, \quad (2.16)$$

де n – кількість труб в одній секції.

$$s_1 = 82 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} = 0,028 \text{ м}^2.$$

Підставляючи отримані значення, знаходимо усереднену швидкість хладону-12 у трубному просторі:

$$w_1 = \frac{1 \cdot 1,95 \cdot 10^{-3}}{0,028 \cdot 3} = 0,023 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

За (1.7) визначаємо критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{0,023 \cdot 0,021}{1,9 \cdot 10^{-7}} = 2542.$$

За (1.8) визначаємо критерій Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{22,9 \cdot 10^{-4} \cdot 1,3 \cdot 10^3}{0,79} = 3,78.$$

Режим руху теплоносія у трубному просторі – перехідний. Отже, критерій Нусельта визначаємо за критеріальним рівнянням (1.10).

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$Nu = 0,008 \cdot 2542^{0,9} \cdot 3,78^{0,43} = 16,42.$$

З (1.6) визначаємо коефіцієнт тепловіддачі зі сторони хладону-12:

$$\alpha_1 = \frac{16,42 \cdot 0,79}{0,021} = 618 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\psi \cdot \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_{np}} + \sum \Gamma_3}, \quad (2.18)$$

де ψ – коефіцієнт збільшення поверхні; $\psi = 9$;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі з боку хладону-12, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

α_{np} – приведений коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$\sum \Gamma_3 = 0,0005 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$ – сумарні термічні опори можливих забруднень [10].

$$K = \frac{1}{9 \cdot \frac{1}{618} + \frac{1}{62,4} + 0,0004} = 32,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Уточнюємо площу поверхні теплообміну апарату повітряного охолодження за рівнянням (1.1):

$$F_p = \frac{371 \cdot 10^3}{32,3 \cdot 14,4} = 798 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт запасу теплообмінної поверхні становить:

$$\beta = \frac{F_T - F_p}{F_p} \cdot 100\%; \quad (2.19)$$

$$\beta = \frac{875-798}{875} \cdot 100\% = 8,8\%.$$

Уточнений розрахунок показав, що вибраний теплообмінний апарат задовольняє вимогам технологічного процесу.

Далі визначаємо діаметри штуцерів для введення парів і виходу рідкого продукту:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.20)$$

де V – об'ємна витрата продукту, м³/с;

w – швидкість руху продукту: для газоподібного хладону-12 $w_{\text{п}} = 5\text{--}25$ м/с [10], приймаємо $w_{\text{п}} = 20$ м/с; для рідкого хладону-12 $w_{\text{ж}} = 0,5\text{--}2,5$ м/с [10], приймаємо $w_{\text{п}} = 1,0$ м/с.

– діаметр штуцера для введення парів хладону-12

Густина парів хладону-12:

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{P}{P_0}, \quad (2.21)$$

де ρ_0 – густина парів хладону-12 за н.у.; $\rho_0 = 0,56$ кг/м³ [10].

$$\rho_1 = 0,56 \cdot \left(\frac{273}{273 + 32} \right) \cdot \frac{0,7}{0,1} = 3,5 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3};$$

$$V_1 = \frac{8000}{3600 \cdot 3,5} = 0,63 \frac{\text{М}^3}{\text{С}};$$

$$d_{\text{А}} = \sqrt{\frac{0,63}{0,785 \cdot 20}} = 0,2 \text{ м.}$$

Приймаємо 2 окремих патрубки діаметром $d_{\text{А}} = 100$ мм [15].

– діаметр штуцера для виходу рідкого хладону-12

$$d_b = \sqrt{\frac{1,95 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 1,0}} = 0,05 \text{ м.}$$

Так само приймаємо 2 окремих патрубки діаметром $d_b = 30 \text{ мм}$ [15].

2.3 Аеродинамічний опір трубного пучка

Аеродинамічний опір пучка труб [15]:

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{\rho_b}{g} (w_y)^2 n_p \left(\frac{S_p}{d_3} \right)^{-0,72} \cdot Re^{-0,24}, \quad (2.22)$$

де ρ_b – густина повітря при його початковій температурі;

w_y – швидкість в стиснутому перерізі оребреного трубного пучка;

n_p – число горизонтальних рядів труб в пучку (по вертикалі); $n_p = 4$;

S_p – крок ребер; $S_p = 0,003 \text{ м}$;

d_3 – зовнішній діаметр труби; $d_3 = 0,028 \text{ м}$;

Re – критерій Рейнольдса, віднесений до діаметра труб d_3 .

$$Re = \frac{w_y \cdot d_3}{\nu_b}, \quad (2.23)$$

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

$$Re = \frac{11,7 \cdot 0,028}{15 \cdot 10^{-6}} = 21840.$$

Підставляючи чисельні значення у рівняння (2.22), визначаємо аеродинамічний опір трубного пучка:

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

$$\Delta P = 9,7 \cdot \frac{1,2}{9,81} \cdot 11,7^2 \cdot 4 \cdot \left(\frac{0,003}{0,028} \right)^{-0,72} \cdot 21840^{-0,24} = 295 \text{ Па} .$$

Обраний раніше вентилятор ЦАГІ КК-2М розвиває напір до 403 Па, а, отже, він із запасом забезпечить працездатність проєктованого апарату.

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір компресора A_2 . Відповідно до технологічної схеми (рис. 1.1) використовується 4 компресорних агрегати і 2 апарати повітряного охолодження. Тобто, для розрахунку компресора необхідно визначити величину об'ємної витрати холодоагенту Q (л/хв):

$$Q = \frac{G_{II}}{\rho_{II}}; \quad (2.24)$$

$$Q = \frac{8000}{1142} = 7,0 \text{ м}^3/\text{год.} = 117 \text{ л/хв.}$$

Широко поширеною помилкою на практиці є неправильне розуміння величини продуктивності компресора. У каталогах будь-яких фірм-виробників компресорів під цією величиною розуміється максимальне споживання повітря на вході компресора, тобто, цю величину можна застосовувати як продуктивність компресора на виході, оскільки вона не враховує його ККД і конструктивні особливості.

Продуктивність компресора A (л/хв.) визначаємо за рівнянням [15]:

$$A = Q \cdot \frac{\beta}{\eta}, \quad (2.25)$$

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

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) компресора.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Довідкові значення β і η для роботи в діапазоні заданого робочого тиску в пневмосистемі наведені у [15].

Вибираємо професійний компресор, для якого продуктивність складе:

$$A = 117 \cdot \frac{1,5}{0,65} = 270 \text{ л/хв.}$$

На промислових установках знаходять застосування поршневі (прямоточні і непрямоточні), ротаційні та гвинтові компресорні агрегати.

Зазначимо, 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, слив конденсату, профілактичне обслуговування.

Маючи розрахункову величину продуктивності, за [15] вибираємо поршневий компресор марки ФУ-15 із наступними характеристиками:

– максимальний тиск, МПа	5,0
– діаметр циліндра, мм	65
– теоретична об'ємна подача, л/хв.	350
– холодопродуктивність, кВт	41
– споживана потужність, кВт	18,5

3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

Розрахунок плоскої кришки [16]. Розрахункова товщина стінки плоскої кришки, що працює під внутрішнім тиском:

– при розрахункових параметрах

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

де K – коефіцієнт, який визначається у залежності від з'єднання кришки із корпусом; за [16] $K = 0,28$;

K_0 – коефіцієнт послаблення кришки;

D_R – розрахункова довжина кришки; за [16] $D_R = D = 1380$ мм;

φ – коефіцієнт міцності зварного шва; $\varphi = 1,0$ [16];

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

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (3.2)$$

де σ^* – нормативне допустиме напруження при робочій температурі;

η – поправний коефіцієнт, який враховує вид заготовки; $\eta = 1,0$ [10].

$$[\sigma] = 154 \cdot 1,0 = 154 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт послаблення 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 вони є найбільшими за діаметром.

$$K_0 = \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{2 \cdot 100}{1380}\right)^3}{1 - \frac{2 \cdot 100}{1380}}} = 1,27.$$

Далі визначаємо розрахункову товщину стінки плоскої кришки при розрахункових параметрах за рівнянням (3.1):

$$s_{IR} = 0,25 \cdot 1,27 \cdot 1380 \cdot \sqrt{\frac{0,7}{154 \cdot 1,0}} = 30 \text{ мм.}$$

– при гідравлічному випробуванні

$$s_{IRB} = K \cdot K_0 \cdot D_R \cdot \sqrt{\frac{p_B}{[\sigma]_B \cdot \varphi}}, \quad (3.4)$$

де p_B – пробний тиск при гідравлічному випробуванні, МПа;

$[\sigma]_B$ – допустиме напруження при гідравлічному випробуванні, МПа.

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні [16]:

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

де $[\sigma]_{20}$ – допустиме напруження для сталі 16ГС при температурі 20°C.

$$[\sigma] = 160 \cdot 1,0 = 160 \text{ МПа.}$$

Визначаємо пробний тиск при гідравлічному випробуванні:

$$p_B = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,7 \cdot \frac{160}{154} = 0,91 \\ 0,7 + 0,3 = 1,0 \end{array} \right\} = 1,0 \text{ МПа.}$$

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Допустиме напруження при гідравлічному випробуванні:

$$[\sigma]_B = \frac{\sigma_{T20}}{1,1}, \quad (3.6)$$

де σ_{T20} – мінімальне значення межі плинності матеріалу при температурі 20°C;

$$[\sigma]_B = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа}.$$

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

$$s_{1RB} = 0,25 \cdot 1,27 \cdot 1380 \cdot \sqrt{\frac{1,0}{218 \cdot 1,0}} = 30 \text{ мм}.$$

Прибавка до розрахункової товщини стінки [16]:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.7)$$

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

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

c_3 – технологічна прибавка; $c_3 = 0$.

Прибавка для компенсації корозії та ерозії:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.8)$$

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

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

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

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Виконавча товщина плоскої кришки, яка працює під внутрішнім тиском:

$$s_1 = \max(s_{1R}; s_{1RB}) + c; \quad (3.9)$$

$$s_1 = 30 + 1,5 = 31,5 \text{ мм}.$$

Приймаємо $s_1 = 34 \text{ мм}$.

Далі перевіряємо умову застосування розрахункових формул для плоскої кришки, а саме:

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

$$\frac{34 - 1,5}{1380} = 0,024 < 0,1.$$

Отже, умова застосування розрахункових формул виконується.

						Лист				
						ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ				
						32				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата						

4 Монтаж та ремонт апарату

4.1 Монтаж апарату [17, 18]

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 дифузорові 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.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

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 стікуючих 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).

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

4.2 Ремонт апарату [18]

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°C.

Найбільш поширеними дефектами у апаратів з трубою 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-

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

звичай, теплообмінники розраховують таким чином, щоб без сильного впливу на технологічний процес можна було заглушити до 10 % трубок.

2. Наскрізна корозія трубок. Дана проблема виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підбраному матеріалі трубчатки. Варіанти вирішення:

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачищення і заглушка трубки.

Нерідко при виникненні наскрізної корозії найбільш ефективним шляхом є просто заміна трубного пучка (виготовлення нового трубного пучка). Це особливо актуально, якщо повторний дефект виник швидко після першої поломки.

3. Наскрізна корозія корпусу чи камери. Дана проблема, так само як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при неправильно підбраному матеріалі. Варіанти вирішення:

- підварювання або установка заплатки;
- виготовлення нової камери чи корпусу.

4. Засмічення трубок чи міжтрубного простору. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один із теплоносіїв не фільтрується належним чином, або якщо відбувається поява природного нагару (наприклад, при роботі з вихлопними газами).

Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

Якщо засмічення відбувається через відсутність належної фільтрації середовища, рекомендується установка необхідних фільтрів. Якщо ж відбувається поява нагару, швидше за все, це обумовлено технологічними моментами. У такому випадку треба визначати, коли відбувається чергове засмічення теплообмінника (вимірювання температури або протитиску) і чистити його.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

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 гідравлічним або пневматичним випробуванням.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

5 Охорона праці

Навчання працівників безпечних способів праці. Зміст та види інструктажів, хто і коли їх проводить.

Навчання з питань ОП здійснюється на підставі статті 18 Закону України “Про охорону праці” і НПАОП 0.00-4.12-05 «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» затверджено наказом Державного комітету з нагляду за охороною праці від 26.01.2005 за № 15.

Основним нормативним документом, що встановлює порядок та види навчання і перевірки знань з охорони праці є НПАОП 0.00-4.12-05. Цей порядок спрямовано на реалізацію в Україні системи безперервного навчання з питань охорони праці.

Типове положення визначає наступний порядок:

- вивчення основ охорони праці у навчальних закладах і під час професійного навчання працівників на підприємстві;
- організації навчання і перевірки знань з питань охорони праці на підприємстві;
- спеціального навчання і перевірки знань з питань охорони праці;
- навчання і перевірки знань з питань охорони праці посадових осіб; організації проведення інструктажів з питань охорони праці;
- стажування, дублювання і допуску працівників до роботи.

Під час професійної підготовки працівників на підприємстві теоретична частина предмета “Охорона праці” вивчається в обсязі не менше 10 годин, а під час перепідготовки та підвищення кваліфікації – не менше 8 годин.

Працівники, які залучаються до виконання робіт з підвищеною небезпечкою, проходять підготовку лише в навчальних закладах. При цьому теоретична частина предмета “Охорона праці” вивчається обсягом не менше 30 годин,

а під час перепідготовки та підвищення кваліфікації – не менше 15 годин. Специфічні питання охорони праці для конкретних професій вивчаються в курсах спеціальних та загальнотехнічних дисциплін.

На підприємствах на основі Типового положення з урахуванням специфіки виробництва та вимог НПАОП, розроблюються і затверджуються відповідні положення підприємств про навчання з питань охорони праці, формується плани-графіки проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці, з якими повинні бути ознайомлені працівники.

Для проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці на підприємстві необхідно створити комісію. А для того, щоб сформувати таку комісію (а також щоб одержати дозвіл на початок роботи підприємства), навчання і здачу іспитів повинні пройти керівники й особи, відповідальні за охорону праці на підприємстві.

У відповідності зі статтею 18 Закону “Про охорону праці” посадові особи, діяльність яких пов’язана з організацією безпечного ведення робіт, під час прийняття на роботу і періодично, один раз у три роки, проходять навчання, а також перевірку знань з питань охорони праці за участю профспілок.

Порядок проведення і перевірки знань посадових осіб з питань охорони праці визначається НПАОП 0.00-4.12-05, у пп. 2.2 якого є посилання на НПАОП 0.00-2.01-93 «Перелік посад посадових осіб, які зобов’язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці». До цього переліку включені Перші заступники та заступники міністрів та керівників інших центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, обласних, Київської та Севастопольської міських державних адміністрацій, керівники та спеціалісти підприємств, установ і організацій, виробничих та науково-виробничих об’єднань незалежно від форм власності та характеру виробничої діяльності, їх заступники, виконання службових обов’язків яких пов’язано з організацією безпечного ведення робіт, керівники та виклада-

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

чі кафедр охорони праці навчальних закладів, навчальних центрів з охорони праці, технічні та страхові експерти та інші категорії посадовців.

У разі недотримання вимог статті 18 Закону «Про охорону праці», не тільки працівників, але і посадових осіб підприємства не можна допускати до роботи без навчання (їх також відстороняють від роботи на час повторного навчання, якщо продемонстровані знання з охорони праці є незадовільними). В такому разі необхідно пройти повторне навчання і перевірку знань в місячний термін.

Заступник керівника, у службові обов'язки якого, як правило, входить організація роботи з охорони праці, очолює комісію, що приймає іспити в підлеглих. До складу комісії включаються фахівці служби охорони праці, юридичної, виробничих і технічних служб, представники органів державного нагляду за охороною праці і профспілок. У будь-якому випадку комісія вважається правомірною, якщо в її склад входить не менш трьох осіб. Особи, що входять до складу таких комісій, згідно із пп. 2.2.2 НПАОП 0.00-4.12-05 повинні пройти навчання і перевірку знань у спеціальних навчальних закладах, що одержали дозвіл Держпромгірнагляду. Інші посадові особи, незазначені в додатку №4 до НПАОП 0.00-4.12-05, але які підпадають під Перелік посад, зобов'язаних проходити перевірку знань з охорони праці, проходять навчання безпосередньо на підприємстві.

Для низки посад підприємств із чисельністю більш 500 чоловік необхідно пройти навчання в Національному науково-дослідному інституті охорони праці.

На малих підприємствах, де немає можливості сформувати належним чином комісію з перевірки знань з охорони праці, посадові особи і фахівці, а також особи, що займаються індивідуальною трудовою діяльністю, перевірку знань проходять у комісіях місцевих органів виконавчої влади або органів Держпромгірнагляду.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Працівники, що зайняті на роботах з підвищеною небезпекою повинні за рахунок роботодавця проходити підготовку тільки в спеціальних навчальних закладах (професійно-технічних училищах, учбово-курсних комбінатах, центрах підготовки і перепідготовки робочих кадрів і т.п.), які одержали у встановленому порядку ліцензію Міносвіти і дозвіл Держпромгірнагляду на здійснення такого навчання (пп. 2.1.2 НПАОП 0.00-4.12-05). Відповідно до НПАОП 0.00-2.02-93 «Перелік робіт з підвищеною небезпекою» до таких робіт відносяться роботи з застосуванням ручних електро- і пневмомашин та інструментів; монтаж, демонтаж і накачування шин, деякі роботи з ремонту й обслуговування автотранспорту; деякі оздоблювальні і деревообробні операції; охорона власності, об'єктів, роботи на копіювальних і множувальних машинах.

Посадові особи і фахівці, в обов'язок яких входить виконання робіт підвищеної небезпеки, а також особи, зазначені в Переліку робіт, що вимагають професійного добору, проходять на підприємстві спеціальне навчання і перевірку знань з охорони праці, що стосуються конкретних умов виробництва. В подальшому такі перевірки повинні проходити не рідше одного разу в рік.

Для інших працівників, що будуть проходити навчання і перевірку знань на підприємстві, службою охорони праці на підставі типових навчальних планів і програм розробляються робочі навчальні плани і програми підготовки, перепідготовки, підвищення кваліфікації. Перевірка знань працівників з питань охорони праці проводиться за тими нормативними актами, дотримання яких входить у їхні службові обов'язки (п. 1.8 Типового положення про навчання з питань охорони праці).

Результати перевірки оформляються відповідним протоколом засідання комісії, а працівникам, які склали іспит, видаються посвідчення. Якщо працівник проходив навчання і перевірку знань безпосередньо на своєму підприємстві, видача посвідчень про перевірку знань є обов'язковою тільки для тих, хто

виконує роботи підвищеної небезпеки (п. 1.9 Типового положення про навчання з питань охорони праці).

Всі працівники, що приймаються на роботу повинні пройти первинний, а в подальшому і щорічний інструктаж з питань пожежної безпеки, про що зазначено у статті 8 «Закону про пожежну безпеку». Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежонебезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань з пожежної безпеки, а посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично (один раз у три роки) проходять навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки. Особливості, порядок і терміни проведення такого навчання зазначені в НАПБ Б.06.001-94 «Перелік посад, при призначенні на які особи зобов'язані проходити навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки та порядок його організації», і в НАПБ Б.02.005-94 «Типове положення про спеціальне навчання, інструктажі та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України».

Працівники при прийнятті на роботу і періодично в процесі роботи, а вихованці, учні і студенти під час навчально-виховного процесу проходять навчання і перевірку знань з охорони праці, надання першої допомоги потерпілим від нещасних випадків, правил поведінки у разі аварії, а також відповідні інструктажі. Особи, які суміщають професії, проходять навчання та інструктажі з охорони праці як з їх основних професій, так і з професій за сумісництвом. Допуск до роботи (виконання навчальних практичних завдань) без навчання і перевірки знань з питань охорони праці забороняється.

Відповідальність за організацію і здійснення навчання та перевірки знань працівників з питань охорони праці покладається на роботодавця [20].

Відповідно до типових правил внутрішнього трудового розпорядку робітники, що наймаються на роботу зобов'язані ознайомитися з порядком виконання трудових обов'язків, правилами трудової і технологічної дисципліни, техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки. З цією метою на підприємствах проводяться різні види інструктажів.

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ

За характером і часом їх проведення вони поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний інструктаж працівники або службовці проходять до початку трудової діяльності при прийнятті їх на роботу. Вступний інструктаж проводить спеціаліст служби охорони праці або особа, на яку за наказом покладено ці обов'язки. Програму та тривалість інструктажу затверджує роботодавець. Під час інструктажу робітникам пояснюють особливості і характер виробничої діяльності, основні вимоги безпечної організації робочих місць, порядок користування санітарно-побутовими приміщеннями й надання першої допомоги в разі нещасних випадків, а також види відповідальності за невиконання вимог охорони праці, правил загальної та особистої гігієни та інше. Запис про проведення вступного інструктажу здійснюють у спеціальному журналі, а також документі про прийняття працівника на роботу.

Первинний інструктаж на робочому місці проводить виконавець робіт або майстер не тільки з тими, хто вперше наймається на роботу, але і кожного разу якщо працівник переводиться з одного виду робіт на інший. Під час цього виду інструктажу виконавець робіт знайомить працівника з технікою даного виду трудової діяльності, інструкцією для даної професії, безпечними методами роботи, правилами експлуатації інструментів, захисними засобами та іншим, що стосується його майбутньої роботи. Залежно від характеру роботи, після проходження первинного інструктажу на робочому місці, працівник протягом 2 – 15 змін має пройти стажування під керівництвом спеціаліста, який призначається наказом по підприємстві. Проведення інструктажу реєструється виконавцем робіт у журналі первинного інструктажу на робочому місці.

Повторний інструктаж періодично на робочому місці проводиться у строки відповідно до затвердженого головним інженером графіка, але проміжок між ними не може перевищувати трьох місяців для працівників на роботах з підвищеною небезпекою та шести місяців для інших працівників. Цей

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

вид інструктажу має на меті закріплення знань з техніки безпеки, бо з часом набуті знання забуваються, що є властивістю людської пам'яті, крім цього постійно змінюються та вдосконалюються нормативно-правові акти з охорони праці.

Позаплановий інструктаж на робочому місці проводиться з працівниками за таких обставин:

- при зміні технологічного процесу або введені у дію нових нормативних актів, чи їх порушення працюючими;
- при перерві у роботі понад 30 календарних днів – для робіт підвищеної небезпеки, а для решти робіт понад 60 днів;
- при виявленні органами державного нагляду незнання працюючими безпечних методів праці чи нормативних актів з охорони праці.

Позаплановий інструктаж завершується перевіркою знань та набутих навичок щодо безпечних методів праці.

Цільовий інструктаж проводить курівник робіт у таких випадках:

- при виконанні разових робіт, що не пов'язані з фаховими обов'язками;
- при ліквідації аварій, стихійних лих або інших негативних наслідків;
- при проведенні робіт, на які оформляються наряди-допуски, дозвіл або інші документи.

Цільовий інструктаж включає відомості про призначення і характер завдання, виробничі обставини, можливі небезпеки, нестандартні ситуації при виконанні трудових операцій і фіксується в наряді-допуску, що дозволяє проведення даного виду робіт.

Рівень знань отриманих працівниками в процесі навчання з питань охорони праці є одним з основних принципів державної політики у сфері охорони праці. Від ефективності навчання великою мірою залежить рівень травматизму та профзахворювань в умовах виробництва [21].

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Література

1. Хладагент R-12 / Refrigerant [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sanmei.kiev.ua/p492511699-freon-hladagent-refrigerant.html?gclid=EAIaIQobChMIInaCfztfb6QIVycCyCh3icgYbEAAAYASAAEgKghvD_BwE
2. Бахмат Г. В. Аппараты воздушного охлаждения газа на компрессорных станциях / Г. В. Бахмат, Н. В. Еремин, О. А. Степанов. СПб. : Недра, 1994. – 512 с.
3. Дистанційний курс з дисципліни «Процеси та апарати хімічних виробництв +КП». Тема 19 – Сучасні конструкції теплообмінного обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266093/index.html>
4. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
5. Сидягин А. А. Расчет и проектирование аппаратов воздушного охлаждения / А. А Сидягин, В. М. Косырев. – Н. Новгород : Наука, 2009 – 150 с.
6. Крюков Н. П. Аппараты воздушного охлаждения / Н. П. Крюков. М. : Химия, 1983. – 168 с.
7. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
8. Эмирджанов Р. Т. Основы технологических расчетов в нефтепереработке и нефтехимии / Р. Т. Эмирджанов, Р. А. Лемберанский . – М. : Химия, 1989. – 192 с.
9. Кузнецов А. А. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности / А. А. Кузнецов, С. М. Кагерманов, Е. Н. Судаков. – Л. : Химия, 1974 – 344 с.

10. 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.
11. Лацинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лацинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
12. 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.
13. 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.
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. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
16. 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.
17. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.
18. 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.
19. Безпека під час експлуатації систем під тиском і криогенної техніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://helpiks.org/8-55189.html>

20.Безпека праці та промислова санітарія: курс охорони праці для студентів інженерно-економічного напрямку підготовки / К. Н. Ткачук, О. Л. Гуменюк, Т. П. Бивойно [та ін.]; За редакцією К. Н. Ткачука і О. Л. Гуменюк – Чернігів : ЧДТУ, 2010. – 368 с.

21.Навчання з питань охорони праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://vinodelie.at.ua/oxorona/lekcii/tema_1.5.pdf

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата