

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра

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

Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві
етанолу. Розробити горизонтальний кожухотрубчастий
конденсатор етанолу

Виконав:

студент групи ХМз-91с

Решетник Богдан В'ячеславович

підпис

Залікова книжка

№ _____

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Острога Руслан Олексійович

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 ХМз-91с Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Решетнику Богдану В'ячеславовичу

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві етанолу.
Розробити горизонтальний кожухотрубчастий конденсатор етанолу

2 Вихідні дані: Розробити кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації парів етанолу у кількості 7750 кг/год. під тиском 0,25 МПа. Холодний теплоносієм у трубах – вода технічна з початковою температурою 19°C.

Питання до розділу «Охорона праці»: Метеорологічні умови у виробничих приміщеннях.
Нормування параметрів мікроклімату.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальний кресленик кожухотрубчастого конденсатора – 1,5 арк.
3. Складальні кресленики кришки та камери розподільної – 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.

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

Дата видачі завдання

жовтень 2022 р.

Керівник

підпис

к.т.н. Острога Р.О.

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП	5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки у виробництві етанолу	7
1.2 Теоретичні основи досліджуваного процесу	9
1.3 Опис конденсатора та вибір конструкційних матеріалів	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ	20
2.1 Технологічні розрахунки	20
2.2 Конструктивні розрахунки	25
2.3 Гідравлічні розрахунки	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	29
3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ	31
3.1 Визначення товщини стінки обичайки і кришки	31
3.2 Розрахунок сідлової опори	35
4 МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТУ	38
4.1 Монтаж конденсатора	38
4.2 Ремонт основних вузлів конденсатора	41
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	45
ЛІТЕРАТУРА	50
ДОДАТКИ	

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Решетник				Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Острога				4	51	
Реценз.					СумДУ, ХМз – 91с		
Н. Контр.							
Затверд.	Острога						
Кожухотрубчастий конденсатор етанолу							
<i>Пояснювальна записка</i>							

ВСТУП

У хімічній промисловості широко використовуються теплові процеси нагрівання, охолодження та конденсації рідин, газів і пари перед їх подачею у реактори різних типів і ректифікаційні колони. Ці процеси зазвичай здійснюються за допомогою спеціальних пристроїв, які називаються теплообмінниками. Теплообмінники використовуються для ефективного передачі тепла між двома різними середовищами. Вони складаються з набору трубок або каналів, через які протікає один потік речовини (наприклад, гарячий газ або рідина), а навколо трубок або каналів проходить інший потік речовини (холодна рідина або газ). Такий конструктивний принцип дозволяє ефективно передавати тепло від одного середовища до іншого [1].

Теплообмінники використовуються у багатьох процесах хімічної промисловості, включаючи нагрівання сировини перед подачею її у реактори для хімічних реакцій, охолодження продуктів після реакцій для забезпечення оптимальних умов, а також для ректифікації і дистиляції рідин для отримання різних фракцій [2].

У хімічній та нафтопереробній промисловості теплообмінники є одним з найважливіших компонентів обладнання і становлять значну частку в загальній кількості встановленого обладнання. Згідно зі статистикою, на підприємствах цих галузей, теплообмінники складають приблизно 30-40% від усього обсягу використовуваного обладнання. Це свідчить про важливість теплообмінників у забезпеченні ефективності та безперебійності процесів нагрівання, охолодження і конденсації, які відбуваються на цих підприємствах [3]. У харчовій промисловості також значна увага приділяється використанню теплообмінників. Вони становлять приблизно 15-20% від усього обладнання, використаного в цій галузі. Харчова промисловість вимагає точного контролю температурних режимів і ефективного теплового обміну для забезпечення якості продукції та дотримання стандартів безпеки [4].

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, теплообмінники є невід'ємною складовою частиною промислових процесів у різних галузях, забезпечуючи ефективний тепловий обмін і забезпечуючи оптимальні умови ведення процесів.

Виконання кваліфікаційної роботи бакалавра відповідає методичним вказівкам [5] і повністю задовольняє встановлені нормативні вимоги.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки у виробництві етанолу

Технологічну схему безперервно діючої ректифікаційної установки у виробництві етанолу представлено на рис. 1.1.

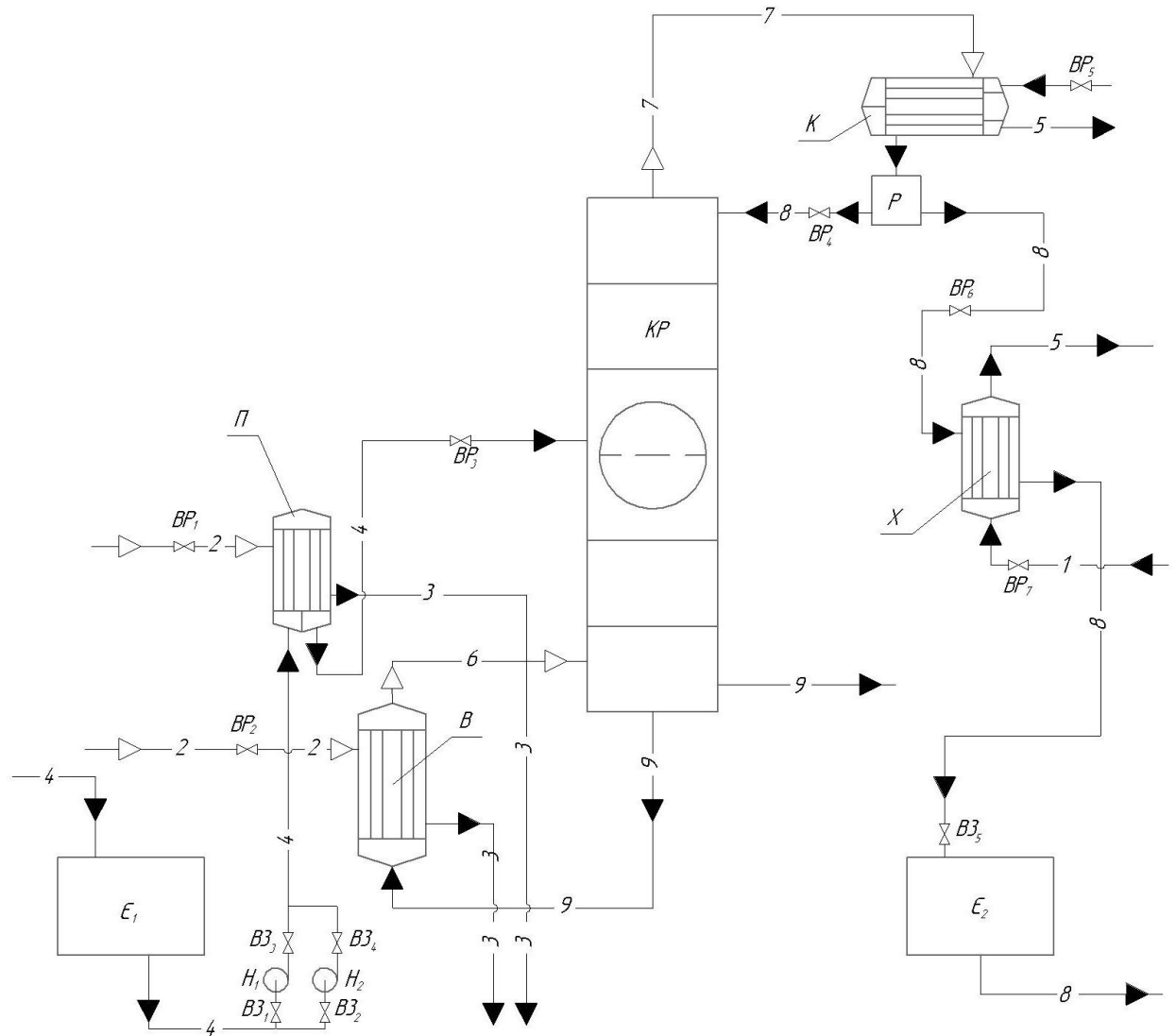


Рисунок 1.1 – Схема ректифікаційної установки виробництва етанолу

Робота даної ректифікаційної установки передбачає наступну послідовність операцій. Починаючи з початкової двокомпонентної суміші, яка зберігається в ємності ϵ_1 , вона подається в підігрівач П за допомогою відцентрових насосів H_1 і H_2 . У підігрівачі суміш нагрівається до точки

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
					7	

кипіння завдяки теплу, що надходить від гріючої водяної пари. Тепло конденсується у міжтрубному просторі підігрівача. Після нагріву суміші до стану кипіння, вона потрапляє на тарілку живлення ректифікаційної колони. На цій тарілці склад рідини відповідає початковій суміші. В результаті протитечійної паро-рідинної взаємодії відбувається розділення суміші на два окремих компоненти – висококиплячий і низькокиплячий.

Нижня частина колони відводить кубовий залишок, який охолоджується та відкачується споживачем. Деяка частина цього кубового залишку направляється з нижньої частини колони до вертикального випарника В. У випарнику завдяки теплу насиченої водяної пари, що подається в міжтрубний простір, кубова рідина починає кипіти, утворюючи пару висококиплячого компоненту. Отримана пара повертається до колони, під нижню тарілку, у якості парового зрошення. Таким чином, у нижній частині ректифікаційної колони відбувається процес вичерпання висококиплячого компоненту.

У верхній частині колони відбувається процес конденсації пари низькокиплячого компоненту, шляхом багатоступеневого контакту з флегмою, що стікає зверху донизу по тарілках. Відповідно до поставленого завдання для кваліфікаційної роботи, низькокиплячим компонентом є етанол (етиловий спирт). Пара етанолу, яка видаляється через верхній випуск колони, потрапляє в кожухотрубний конденсатор К, де відбувається його конденсація у міжтрубному просторі завдяки відведенню тепла холодним теплоносієм – водою технічною, яка циркулює в трубах. Частина утвореного конденсату повертається назад до колони у вигляді флегми для подальшого контакту з паром на масообмінних тарілках. Друга частина конденсату, відома як дистилат, додатково охолоджується у холодильнику Х і збирається у резервуарі Є₂ як готовий продукт з високим вмістом низькокиплячого компоненту, а саме етанолу.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

1.2 Теоретичні основи досліджуваного процесу

Теоретичні засади теплообміну, які представлені у цьому розділі, були розроблені на основі аналізу наукової літератури [1–4]. Теплообмінники – це пристрої, які призначені для передачі тепла від одних речовин до інших. За методом передачі тепла, теплообмінники поділяються на поверхневі, де теплоносії не мають прямого контакту, а передача тепла відбувається через тверду стінку, і змішувальні, де теплоносії контактують безпосередньо. Поверхневі теплообмінники, у свою чергу, поділяються на рекуперативні і регенеративні залежно від того, чи відбувається одночасний або послідовний контакт теплоносіїв з роздільною стінкою. Теплообмінні пристрої поверхневого типу також класифікуються за призначенням (підігрівачі, холодильники, конденсатори і т. д.), за напрямком руху теплоносіїв (прямотечійні, протитечійні, змішана течія), за матеріалом поверхні теплообміну, за кількістю проходів тощо.

Рекуперативний теплообмінник є типом теплообмінника, де гарячий і холодний теплоносії рухаються у різних каналах, а тепло передається через стінку, що їх розділяє. У рекуперативних теплообмінниках, за незмінних умов, параметри теплоносіїв на вході та в будь-якому перетині каналу залишаються сталими, не залежать від часу. Таким чином, процес передачі тепла має стаціонарний характер. Це пояснює, чому рекуперативні теплообмінники також називаються стаціонарними. Вони можуть працювати як у періодичному, так і у безперервному режимах.

Залежно від напрямку руху теплоносіїв, рекуперативні теплообмінники можуть бути прямотечійними, коли теплоносії рухаються паралельно у одному напрямку. Вони також можуть бути протитечійними, коли теплоносії рухаються паралельно, але в протилежних напрямках. Крім того, існують перехресні рекуперативні теплообмінники, де два взаємодіючих середовища рухаються взаємно перпендикулярно одне одному, що сприяє ефективному теплообміну між ними.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

У промисловості поширені різноманітні типи рекуперативних теплообмінників, серед яких можна виділити наступні: кожухотрубні теплообмінники; елементні (секційні) теплообмінники; двотрубні теплообмінники типу "труба у трубі"; кручені теплообмінники; заглибні теплообмінники; зрошувальні теплообмінники; ребристі теплообмінники; спіральні теплообмінники; пластинчасті теплообмінники; пластинчато-ребристі теплообмінники; графітові теплообмінники.

Ці типи теплообмінників знайшли широке застосування в промислових галузях, де необхідна ефективна передача тепла між середовищами. Кожен з цих типів має свої унікальні характеристики та переваги в залежності від конкретних умов застосування. Наприклад, кожухотрубні теплообмінники відрізняються своєю конструкцією, де одне середовище проходить через труби, а інше – навколо них в кожуху. Елементні теплообмінники складаються з окремих секцій, що забезпечує гнучкість та можливість регулювання. Кручені теплообмінники мають спеціальну спіральну форму, що збільшує площу теплопередачі. Таким чином, кожен тип теплообмінника пропонує рішення для конкретних вимог і умов теплообміну в промисловості.

У регенеративних поверхневих теплообмінниках відбувається послідовний контакт гарячого і холодного теплоносіїв з твердою стінкою. Під час контакту з гарячим теплоносієм теплота накопичується в стінці, а при контакті з холодним теплоносієм вона передається. Регенератори є періодично діючими пристроями.

У різних випадках регенераторів потрібно нагрівати потік, охолоджувати його, випаровувати, сконденсовувати або утилізувати невикористане тепло. Такі теплообмінники потрібні не тільки в хімічній промисловості, але й у нафтохімії, нафтогазопереробці, тепловій та атомній енергетиці, металургії, харчовій промисловості тощо. Хоча у теплообмінниках не відбувається перетворення речовин, вони є основними

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

пристроями на кожному виробництві, оскільки вони складають основу технологічного процесу.

Конструкція теплообмінників має бути простою і зручною для монтажу та ремонту. В деяких випадках конструкція теплообмінника повинна забезпечувати мінімальне забруднення поверхні теплообміну та легкий доступ для огляду та очищення.

Кожухотрубні теплообмінники є одними з найпоширеніших поверхневих теплообмінників, завдяки своїй надійній конструкції та широкому спектру варіантів виконання для різних умов експлуатації. Серед переваг цих теплообмінників можна виділити:

- здатність працювати з однофазними потоками, а також з процесами кипіння і конденсації з обох сторін теплообмінника, незалежно від його вертикального або горизонтального розташування;
- високий діапазон тиску, що охоплює значення від вакууму до високих рівнів, завдяки великому розмаїттю варіантів;
- здатність задовольняти вимоги щодо термічних напружень без значного підвищення вартості пристрою;
- гнучкі розміри, які охоплюють від невеликих до величезних розмірів;
- можливість використання різних матеріалів відповідно до вимог щодо вартості, стійкості до корозії, температурного режиму, тиску тощо;
- використання різноманітних розроблених поверхонь теплообміну як всередині труб, так і зовні, з використанням різних інтенсифікаторів, оребрення та інших технологій;
- зручність вилучення пучка труб для очищення та ремонту.

Зазвичай, в рекуперативних теплообмінниках середовища направляються одне проти одного, рухаючись у протилежних напрямках. Гаряче середовище направляється знизу вгору, тоді як холодне середовище рухається в протилежному напрямку. Цей напрямок руху кожного

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		11

середовища збігається з напрямком, в якому воно природним чином прагне рухатися, відповідно до зміни щільності при нагріванні або охолодженні.

Така організація руху середовищ дозволяє досягти більш рівномірного розподілу швидкостей і однакових умов теплообміну на всій площі поперечного перерізу теплообмінника. У разі, наприклад, коли холодне середовище подається зверху, більш нагріта частина рідини, яка є легшою, може накопичуватися у верхній частині теплообмінника, створюючи "застійні" зони.

Такий протитечійний напрямок руху середовищ в рекуперативних теплообмінниках забезпечує оптимальні умови теплообміну, забезпечує більш ефективно використання енергії і запобігає накопиченню гарячих або холодних областей у внутрішніх частинах пристрою.

Горизонтальні теплообмінники часто виготовляються з багатоходовою конструкцією і працюють при високих швидкостях руху середовищ. Такий підхід має на меті мінімізувати розшарування рідини внаслідок великої різниці в температурі і щільності, а також уникнути утворення застійних зон.

У теплообмінниках з жорсткою конструкцією, де труби приварені до корпусу і мають фіксоване положення, значна різниця температур між трубами і кожухом (50°C і більше) призводить до нерівномірного розширення труб і кожуха. Це створює значні напруження в трубних решітках, може пошкодити щільність з'єднання труб з решітками і призвести до пошкодження зварних швів. Тому, коли різниця температур між трубами і кожухом перевищує 50°C або при великій довжині труб, застосовують гнучкіші конструкції кожухотрубних теплообмінників, які допускають певний рух труб відносно кожуха пристрою.

При проектуванні кожухотрубного теплообмінника, так само як і будь-якого іншого теплообмінного пристрою, виконується ряд обчислень, що включають визначення необхідної площі поверхні для передачі тепла, вибір відповідного типу теплообмінника і оптимальної конструкції відповідно до заданих технологічних умов.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

Основне рівняння теплопередачі використовується для визначення необхідної площі поверхні для передачі тепла:

$$F = \frac{Q}{\Delta t_{cp} \cdot K},$$

де F – поверхня теплопередачі, м²;

Δt_{cp} – середня температура процесу;

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

Q – теплове навантаження, Вт.

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

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

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

λ_{CT} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/(м·К).

Середня різниця температур при прямотоці або протитоці теплоносіїв дорівнює:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}},$$

де Δt_B і Δt_M – різниці температур (великої й малої) теплоносіїв на кінцях теплообмінника.

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

Теплове навантаження апарату, відповідно до заданих технологічних умов, знаходять по одному із наступних рівнянь:

– якщо агрегатний стан теплоносіїв не змінюється

$$Q = G \cdot c \cdot (t_1 - t_2);$$

– при конденсації насичених парів без охолодження конденсату

$$Q = G \cdot r;$$

– при конденсації насичених парів з охолодженням конденсату

$$Q = G \cdot (I_1 - c_2 \cdot t_2),$$

де I_1 – ентальпія перегрітої пари.

1.3 Опис конденсатора та вибір конструкційних матеріалів

Кожухотрубчастий конденсатор (див. рис. 1.2) складається з декількох компонентів, включаючи корпус, розподільні і спрямовуючі камери, внутрішню систему трубок, трубні решітки, перегородки і ущільнення.

У корпусі теплообмінника приварені два патрубки: один для подачі робочого середовища, а інший для його відведення. На торці корпусу розташовані спеціальні фланці.

Також до складу кожухотрубного теплообмінника входять трубні решітки, між якими приварені труби, обладнані дистанційними штифтами. Ця конструкція утворює систему трубок рекуператора, що дозволяє теплообміннику мати багатоходовий принцип роботи.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		14

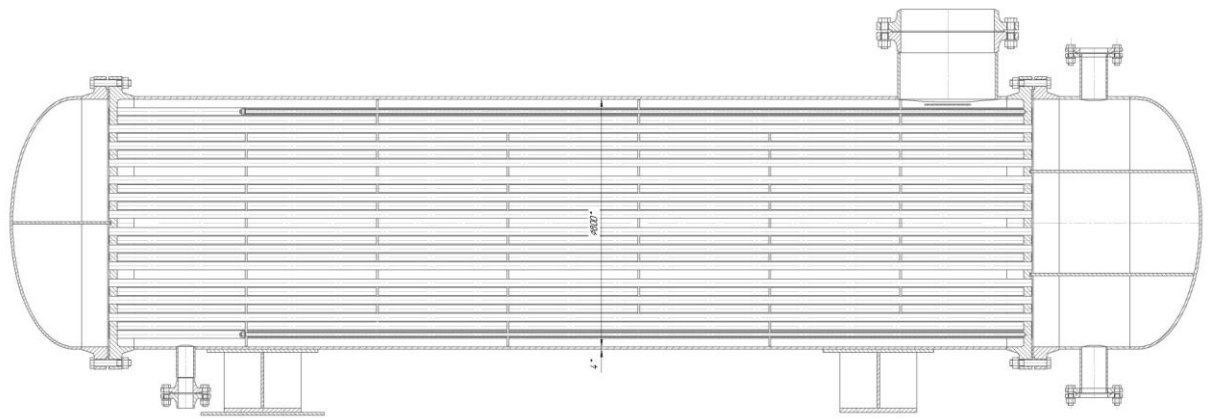


Рисунок 1.2 – Схема запроєктованого кожухотрубчастого конденсатору

Даний теплообмінний апарат є конденсатором кожухотрубного типу, спеціально розробленим для ефективної конденсації парів етанолу. В цьому апараті пари етанолу, об'ємом 7750 кілограмів на годину і під абсолютним тиском 0,25 МПа, подаються через верхній штуцер, а потім зустрічаються з поверхнею пучка труб в міжтрубному просторі. Тут вони піддаються процесу конденсації, перетворюючись у рідку фазу. Утворений конденсат збирається і видаляється з апарату через нижній штуцер, і може бути направлений до споживача для використання або задоволення технологічних потреб.

У трубному просторі апарату постійно подається технічна вода, яка виконує роль теплоносія. Під час циркуляції води, вона проходить через трубки і нагрівається, забираючи тепло від етанолу, що конденсується у міжтрубному просторі. Цей процес теплообміну забезпечує ефективну передачу тепла з етанолу до води. У разі потреби, відведена вода може бути використана для опалення приміщень або інших технічних потреб, забезпечуючи енергоефективність та оптимальне використання ресурсів.

Вибір конструкційних матеріалів для апарату проводився на основі ретельного дослідження, включаючи джерела [8–10], щоб забезпечити оптимальну працездатність теплообмінного апарату. У хімічній технології використовуються різноманітні матеріали, які забезпечують високу ефективність теплопередачі і стійкість до агресивних середовищ.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

У цій галузі застосовуються різні типи металів, включаючи вуглецеві і леговані сталі, мідь, титан, тантал та інші, оскільки вони мають властивості, що відповідають вимогам процесу. Крім металевих матеріалів, також використовуються неметалеві матеріали, наприклад, графіт і тефлон, які відрізняються високою хімічною стійкістю і дозволяють вирішувати специфічні завдання.

При виборі матеріалу для теплообмінного апарату найбільш важливими критеріями є його стійкість до корозії, яка забезпечує тривалу експлуатацію апарату в агресивних умовах, та його теплопровідність, яка впливає на ефективність теплопередачі. Враховуючи властивості обраного матеріалу, розробляється конструкція теплообмінного апарату, що дозволяє досягти оптимального балансу між ефективністю, надійністю та економічністю процесу.

Також потрібно враховувати наступні аспекти:

- механічні властивості матеріалу, такі як межа міцності, відносне подовження, твердість та ін.;
- технологічність у виготовленні, зокрема зварюваність, що впливає на процес виробництва;
- хімічна стійкість проти корозії, оскільки агресивні середовища можуть негативно вплинути на матеріал теплообмінного апарату;
- теплопровідність, яка визначає ефективність передачі тепла через матеріал.

Додатково, при виборі матеріалу для конструкції апарату, важливо враховувати й інші фактори, такі як стійкість до абразивного зношування, температурні межі експлуатації, електрична провідність (залежно від призначення) та довговічність матеріалу в умовах роботи.

Наприклад, механічні властивості матеріалів, з яких виготовлена працююча апаратура, істотно змінюються при низьких і високих температурах. Гарна зварюваність металів також є одним із необхідних умов їх застосування, оскільки при сучасній технології хімічного

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

апаратобудування основний спосіб виконання нероз'ємних з'єднань – це зварювання.

Одним із ключових вимог до матеріалів, що має вирішальне значення у хімічних апаратах, є їх стійкість до корозії. Цей фактор належить до найважливіших, оскільки він прямо впливає на тривалість та надійність експлуатації хімічного обладнання.

У даному конкретному випадку, при виборі матеріалу для конструкції, ми приділяємо особливу увагу двом важливим критеріям – низькій вартості та доступності матеріалу. Проте ці вимоги не компромітують ефективність самого процесу виготовлення виробу. Ми прагнемо забезпечити оптимальне поєднання цих факторів, що дозволить досягти якісного і надійного результату без зайвих витрат та складнощів.

Сталевий сплав 09Г2С є оптимальним вибором для виготовлення різних елементів хімічного апарату, включаючи корпус, фланці, розподільні камери та деталі, що піддаються тисковому впливу.

Використання сталі 09Г2С має раціональні підстави, оскільки цей матеріал відповідає потрібним вимогам щодо міцності, надійності та стійкості до дії різноманітних хімічних середовищ. Вона характеризується високою міцністю та дуже доброю зварюваністю, що сприяє ефективному процесу виготовлення.

Вибір цього матеріалу забезпечує необхідну стійкість до корозії, дозволяючи апарату ефективно працювати у різних умовах експлуатації. Завдяки своїм властивостям, сталь 09Г2С виконує важливу функцію у забезпеченні тривалої та надійної роботи хімічного обладнання. Фізико-механічні властивості сталі 09Г2С представлено в табл. 1.1.

Сталь 20 є оптимальним вибором матеріалу для виготовлення різноманітних компонентів теплообмінного обладнання, включаючи теплообмінні труби, штуцери, кріпильні деталі (болти, шпильки, гайки), панелі, підставки, кронштейни, кутники та ребра жорсткості.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

Таблиця 1.1 – Основні фізико-механічні властивості сталі 09Г2С

Показник	Значення
Модуль пружності E, МПа	200000
Модуль зсуву G, МПа	77000
Щільність ρ , кг/м ³	7850
Межа міцності σ_B , МПа	не менше 360
Межа текучості σ_T , МПа	не менше 180
Відносне звуження ψ , %	56
Відносне подовження δ , %	25
Твердість по Брінеллю, НВ	115
Зварюваність	без обмежень

Використання сталі 20 є раціональним рішенням, оскільки цей матеріал має властивості, необхідні для забезпечення міцності, довговічності та відмінної термічної стійкості компонентів теплообмінного обладнання.

Сталь 20 характеризується високою міцністю, стійкістю до впливу корозії і доброю зварюваністю, що дозволяє легко виготовляти та монтувати комплексні деталі обладнання. Вона також має відмінну теплопровідність, що сприяє ефективній передачі тепла в теплообмінних системах.

Вибір сталі 20 для цих компонентів забезпечує оптимальну комбінацію міцності, корозійної стійкості та теплопровідності, що робить її надійним та ефективним матеріалом для виробництва теплообмінного обладнання різних типів і застосувань. Фізико-механічні властивості сталі 20 представлено в табл. 1.2.

Ми використовуємо пароніт – неметалевий матеріал, для виготовлення прокладок, які служать для ущільнення з'єднань фланцевих роз'ємів нашого обладнання.

Пароніт – це прокладковий матеріал, який отримують шляхом пресування суміші з азбесту, каучуку та порошкових компонентів.

Таблиця 1.2 – Основні фізико-механічні властивості сталі 20

Показник	Значення
Модуль пружності E, МПа	200000
Модуль зсуву G, МПа	74000
Щільність ρ , кг/м ³	7850
Межа міцності σ_B , МПа	не менше 420
Межа текучості σ_T , МПа	не менше 250
Відносне звуження ψ , %	40
Відносне подовження δ , %	16
Твердість по Брінеллю, НВ	156
Зварюваність	без обмежень (крім хіміко-термічно оброблених деталей)

Пароніт є гнучким і добре припасовується до поверхонь з'єднань, що дозволяє ефективно ущільнювати їх і запобігати витoku рідин або газів. Його використовують для створення надійного і герметичного з'єднання між фланцями апарату. Він має хорошу міцність, стійкість до стискування і зносу, а також хімічну стійкість до багатьох речовин. Він також володіє добрими термоізоляційними властивостями.

Вибір пароніту як матеріалу для прокладок зумовлений його надійністю, ефективністю та доступністю. Він є широко використовуваним матеріалом у промисловості, де важливо забезпечити надійність і герметичність з'єднань.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ

2.1 Технологічні розрахунки [6, 7]

Середню рушійну силу процесу визначають початкові і кінцеві температури кожного теплоносія, а також схема взаємного руху теплоносіїв. Площа теплообміну обчислюється з основного рівняння теплопередачі. Кількість труб в одному ході визначається з рівняння об'ємної витрати потоку у трубному просторі. Фактичні швидкості холодного теплоносія в трубах і гарячого теплоносія в міжтрубному просторі розраховуються теоретично [6].

Режим течії в трубах і міжтрубному просторі визначається за значеннями критеріїв Рейнольдса, а також інших критеріїв подібності, таких як критерій Прандтля і критерій Нуссельта. Методика, яка використовується для технологічного розрахунку теплообмінного апарату, наведена у [6, 7].

Завершення технологічного розрахунку дозволяє визначити необхідну поверхню теплопередачі. Згідно з вхідними даними, які наведені у завданні для кваліфікаційної роботи, етанол надходить у апарат при температурі конденсації. Температура конденсації етанолу при тиску 0,25 МПа становить 93°C [11].

Теплове навантаження, що буде призначене для проєктованого конденсатора, складатиме:

$$Q = Q_{\text{конд}} = G_{\text{п}} r_{\text{х}}, \quad (1)$$

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

$r_{\text{х}}$ – питома теплота конденсації етанолу, кДж/кг [11].

$$Q = \left(\frac{7750}{3600} \right) \cdot 850 = 1830 \text{ кВт}.$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

Середня різниця температур $\Delta t_{\text{ср}}$, $^{\circ}\text{C}$:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{2,3 \lg \left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} \right)}, \quad (2)$$

де Δt_{δ} і $\Delta t_{\text{м}}$ – більша і менша різниці температур, $^{\circ}\text{C}$.

Кінцева температура вода у трубах приймається відповідно до рекомендацій [6] нижче температури гарячого теплоносія на 5–15 $^{\circ}\text{C}$.
Приймаємо 13 $^{\circ}\text{C}$.

$$\Delta t_{\text{м}} = 93 - 80 = 13 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\delta} = 93 - 19 = 74 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{74 - 13}{2,3 \lg \left(\frac{74}{13} \right)} = 35 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

Витрату охолоджуючої води знаходимо з рівняння теплового балансу:

$$G_{\text{в}} = \frac{Q}{c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{кв}} - t_{\text{нв}})}, \quad (3)$$

де $c_{\text{в}}$ – теплоємність води при усередненій температурі, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ [11].

$$G_{\text{в}} = \frac{1830}{4,2 \cdot (80 - 19)} = 7,14 \text{ кг/с.}$$

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

Орієнтовно необхідна поверхня теплообміну буде становити:

$$F_B = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{сер}}, \quad (4)$$

де K_{op} – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі для конденсаторів (приймається в діапазоні 300÷800 Вт/(м²·К) згідно рекомендацій [6]).

$$F_B = \frac{1830 \cdot 10^3}{600 \cdot 35} = 87 \text{ м}^2.$$

Попередньо вибираємо стандартизований кожухотрубний теплообмінник з такими параметрами: діаметр кожуха $D = 800$ мм; теплообмінні труби $\varnothing 25 \times 2,5$ мм, довжиною $l = 3,0$ м; число ходів по трубах $z = 4$; загальна кількість труб 404 шт.; поверхня теплообміну $F = 95 \text{ м}^2$; площа перерізу одного ходу по трубах $s_{тр} = 0,011 \text{ м}^2$.

Швидкість води технічної у трубах теплообмінника:

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot s_{тр}}, \quad (5)$$

де ρ_B – щільність води при усередненій температурі, кг/м³ [11].

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot s_{тр}} = \frac{7,14}{990 \cdot 0,011} = 0,66 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса для теплоносія у трубах:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$Re_B = \frac{w_B \cdot (d - 2s) \cdot \rho_B}{\mu_B}, \quad (6)$$

де d і s – діаметр і товщина стінки теплообмінних труб відповідно, м;
 μ_B – динамічний коефіцієнт в'язкості води при усередненій температурі, Па·с [12].

$$Re_B = \frac{0,66 \cdot (25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3} \cdot 990}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 21780$$

Критерій Прандтля для теплоносія у трубах:

$$Pr_B = \frac{c_p \cdot \mu_B}{\lambda_B}, \quad (7)$$

де λ_B – коефіцієнт теплопровідності води при усередненій температурі, Вт/(м·К) [11].

$$Pr_B = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}}{0,65} = 3,9$$

Оскільки $Re > 10000$ – режим розвинений турбулентний. Тепловіддача при цьому режимі в прямих трубах і каналах описується критеріальним рівнянням [6]:

$$Nu_B = 0,021 \cdot \varepsilon_1 Re_B^{0,8} Pr_B^{0,43} \left(\frac{\mu_2}{\mu_{cm2}} \right)^{0,25} \quad (8)$$

де Nu_B – критерій Нуссельта, що характеризує інтенсивність переходу

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

теплоти на кордоні стінка-потік холодного теплоносія;

ε_1 – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив на коефіцієнт тепловіддачі відношення довжини труби до його діаметру;

$(\mu_2/\mu_{ст2})^{0,25}$ – множник, що враховує напрямок теплового потоку (відповідно до рекомендацій [6] при проектуванні теплообмінників в розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі для рідин, що нагріваються, можна приймати $(\mu_2/\mu_{ст2})^{0,25}=1$, допускаючи невелику похибку в сторону зменшення коефіцієнта тепловіддачі, тобто в сторону запасу).

$$Nu_B = 0,021 \cdot 1 \cdot 21780^{0,8} \cdot 3,9^{0,43} \cdot 1 = 111$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки потоку холодного теплоносія [6]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_B \cdot \lambda_B}{d - 2s}; \quad (9)$$

$$\alpha_2 = \frac{111 \cdot 0,65}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} = 3608 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт тепловіддачі від потоку етанолу, що конденсується у міжтрубному просторі теплообмінника [6]:

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_x^3 \rho_x^2 r_x' g}{\mu_x \Delta t d}} \quad (10)$$

де ε – коефіцієнт, що залежить від розташування труб в пучку та розрахункового числа труб у кожному вертикальному ряді;

ε_t – поправочний коефіцієнт, що враховує залежність фізичних

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

властивостей конденсату від температури;

λ_x – коефіцієнт теплопровідності конденсату, Вт/(м·К);

ρ_x – густина конденсату, кг/м³;

r_x' – сума теплоти конденсації і перегріву етанолу, Дж/кг. Оскільки етанол надходить в апарат при температурі конденсації, $r_x' = 850$ Дж/кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

μ_x – динамічний коефіцієнт в'язкості конденсату, Па·с;

Δt – різниця температур конденсату і поверхні стінки, К.

$$\alpha_1 = 0,728 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,16^3 \cdot 740^2 \cdot 850 \cdot 9,81}{45,9 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}} = 831 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт теплопередачі від потоку етанолу, який конденсується, через розділяючу стінку воді технічній:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (11)$$

де $\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу труб, Вт/(м·К).

$$K = \frac{1}{\frac{1}{831} + \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{46,5} + \frac{1}{3608}} = 652 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Фактична поверхня теплообміну становить:

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$F_{\phi} = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}}; \quad (12)$$

$$F_{\phi} = \frac{1830 \cdot 10^3}{652 \cdot 35} = 80,2 \text{ м}^2.$$

Остаточно приймаємо кожухотрубний конденсатор з такими характеристиками: діаметр кожуха $D = 800$ мм; теплообмінні труби $\varnothing 25 \times 2,5$ мм, довжиною $l = 3,0$ м; число ходів по трубах $z = 4$; загальна кількість труб 404 шт.; поверхня теплообміну $F = 95 \text{ м}^2$; площа перерізу одного ходу по трубах $s_{\text{тр}} = 0,011 \text{ м}^2$.

У такому разі коефіцієнт запасу поверхні теплообміну буде становити:

$$\chi = \left(1 - \frac{F_{\phi}}{F}\right) \cdot 100\%; \quad (13)$$

$$\chi = \left(1 - \frac{80,2}{95}\right) \cdot 100\% = 15\%$$

Отриманий запас поверхні знаходиться в межах допустимих значень, а саме 10–15 %.

Діаметри штуцерів теплообмінного апарату для підведення-відведення теплоносіїв будуть розраховані за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi w}} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \rho w}}, \quad (14)$$

де V і G – об'ємна і масова витрати рідини (пари) відповідно, $\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{кг}/\text{с}$;

ρ – густина потоку середовища, $\text{кг}/\text{м}^3$;

w – швидкість витікання середовища, $\text{м}/\text{с}$.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						26
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [7]: для рідин 0,1–0,5 м/с при самопливі та 0,5–2,5 м/с в напірних трубопроводах; для пари і газів 5–15 м/с.

Діаметр штуцера для входу парів етанолу:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 7750 / 3600}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 10}} = 0,279 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера для виходу конденсату етанолу:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 7750 / 3600}{3,14 \cdot 740 \cdot 1,5}} = 0,0497 \text{ м.}$$

Діаметри штуцерів для входу і виходу води технічної:

$$d_{ex} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,14}{3,14 \cdot 995 \cdot 1,5}} = 0,078 \text{ м.}$$

Приймаємо в проєктованому апараті наступні штуцера:

- для входу парів етанолу $D_y=300$ мм ($p_y=0,25$ МПа);
- для виходу конденсату етанолу $D_y=50$ мм ($p_y=0,25$ МПа);
- для входу води технічної $D_y=80$ мм ($p_y=0,1$ МПа);
- для виходу води технічної $D_y=80$ мм ($p_y=0,1$ МПа).

2.3 Гідравлічні розрахунки [10]

Повний гідравлічний опір теплообмінника:

$$\Delta P = \Delta P_{mp} + \Delta P_m = \left(\lambda \frac{L}{d - 2s} + \sum \xi_m \right) \frac{w_e^2 \rho_e}{2} \quad (15)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

де λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

ξ_m – коефіцієнт місцевого опору.

Для ізотермічного турбулентного потоку в гідравлічно шорстких трубах:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d - 2s} + \frac{68}{\text{Re}_b} \right)^{0,25} \quad (16)$$

де Δ – абсолютна шорсткість поверхні труби (для сталевих нових труб $\Delta=0,06-0,1$ мм, для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією $\Delta=0,1-0,2$ мм), мм.

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,1}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{21780} \right)^{0,25} = 0,164$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в апараті:

$$\sum \xi_m = 2\xi_1 + 2\xi_2 + \xi_3(z-1) \quad (17)$$

де ξ_i – коефіцієнти місцевих опорів (вхідна і вихідна камери $\xi_1=1,5$, вхід в труби і вихід з них $\xi_2=1$, поворот на 180° між ходами $\xi_3=2,5$).

$$\sum \xi_m = 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1 + 2,5 \cdot (4 - 1) = 12,5$$

$$\Delta P = \left(0,164 \frac{3,0}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + 12,5 \right) \cdot \frac{0,66^2 \cdot 990}{2} = 8000 \text{ Па.}$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		28

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір холодильника для охолодження етанолу.

Деяка кількість сконденсованого етанолу у формі флегми повертається до колони, тоді як інша частина його направляється до холодильника для подальшого охолодження. Функція холодильника полягає в додатковому зниженні температури етанолу до 25°C.

Зважаючи на вищезазначене, теплове навантаження холодильника:

$$Q_x = G_x \cdot c_x \cdot (t_1 - t_2), \quad (18)$$

де c_x – питома теплоємність етанолу, $c_x = 2,45$ кДж/(кг·К) [11].

$$Q_x = \frac{2500}{3600} \cdot 2,45 \cdot (93 - 25) = 116 \text{ кВт.}$$

Розрахункова поверхня теплопередачі холодильника:

$$F_P = \frac{Q_x}{K \cdot \Delta t}, \quad (19)$$

де K – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі холодильників, Вт/(м²·К) [6];

Δt – різниця між температурами конденсації етанолу (93°C) і охолоджуючої води із градирні (9°C).

$$F_P = \frac{116 \cdot 10^3}{60 \cdot (93 - 9)} = 23 \text{ м}^2.$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Вибираємо стандартизований кожухотрубний холодильник з такими характеристиками: поверхня теплообміну $F = 31,0 \text{ м}^2$, внутрішній діаметр кожуха $D = 400 \text{ мм}$, довжина труб $L = 4000 \text{ мм}$, сортамент труб $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$, число ходів по трубах 2.

Розрахунок і вибір збірника рідкого етанолу.

Ємність для зберігання рідкого етанолу розраховуємо виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу і з урахуванням коефіцієнта заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{\text{єр}} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (20)$$

де G – загальна витрата конденсата, $G = 2500 \text{ кг/год.}$;

τ – резерв робочого часу, $\tau = 7 \text{ год.}$;

ρ – густина етанолу при температурі 25°C , $\rho = 780 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{\text{єр}} = \frac{2500 \cdot 7}{0,8 \cdot 780} = 28 \text{ м}^3.$$

Задаємося діаметром ємності $D = 2,6 \text{ м}$, тоді її висота буде дорівнювати:

$$H = \frac{V_{\text{єр}}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (21)$$

$$H = \frac{28}{0,785 \cdot 2,6^2} = 5,3 \text{ м}.$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

3.1 Визначення товщини стінки обичайки і кришки [13]

Приймаємо робочий тиск у міжтрубному просторі 0,25 МПа.

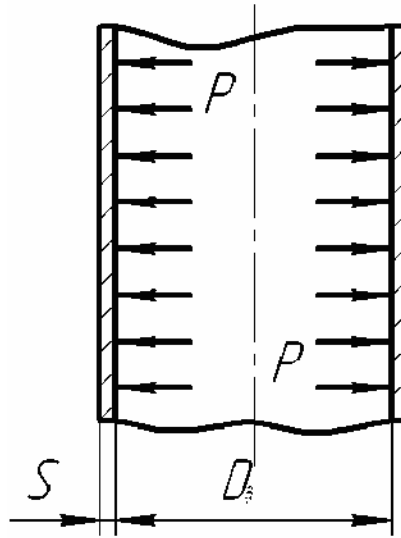


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Знаходимо величину нормативної допустимого напруження для сталі 09Г2С при розрахунковій температурі 90°C: $\sigma^* = 200$ МПа.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (22)$$

де $\eta = 1$ – поправковий коефіцієнт для листового прокату.

$$[\sigma] = 200 \cdot 1 = 200 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1}, \quad (23)$$

де $\sigma_T^{20} = 280 \text{ МПа}$ – межа плинності сталі 09Г2С при температурі 20°C.

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 255 \text{ МПа}.$$

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

$$P_p = P + P_r, \quad (24)$$

де $P = 0,25 \text{ МПа}$ – робочий тиск;

P_r – гідростатичний тиск середовища.

Гідростатичний тиск середовища:

$$P_r = g \cdot \rho_p \cdot H_p; \quad (25)$$

$$P_r = 9,81 \cdot 740 \cdot 0,6 = 0,0044 \text{ МПа};$$

$$P_p = 0,25 \text{ МПа}.$$

Оскільки розрахунковий тиск менше 0,5 МПа, то пробний тиск при гідравлічних випробуваннях визначаємо за рівнянням:

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, 0,2 \right\}, \quad (26)$$

де $[\sigma]_{20} = \sigma_{20}^* = 196 \text{ МПа}$ – допустиме напруження сталі 09Г2С при 20°C.

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,25 \cdot 196}{200} = 0,37 \text{ МПа}, 0,2 \text{ МПа} \right\} = 0,37 \text{ МПа}.$$

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_P}, \frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_H - P_H} \right\}, \quad (27)$$

де $\varphi = 1$ – коефіцієнт міцності зварних швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним або напівавтоматичним зварюванням.

$$S_P^H = \max \left\{ \frac{0,25 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 200 - 0,25} = 0,5 \text{ мм}, \frac{0,37 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 255 - 0,37} = 0,58 \text{ мм} \right\} = 0,58 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_H \geq S_P^H + c, \quad (28)$$

де c – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (29)$$

c_1 – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

c_2 – прибавка для компенсації мінусового допуску;

c_3 – технологічна прибавка.

Приймаємо, що $c_2 = c_3 = 0$. Прибавку для компенсації корозії та ерозії визначаємо за рівнянням:

$$c_1 = P \cdot \tau, \quad (30)$$

де $P = 0,12$ мм/рік – проникність матеріалу;

$\tau = 15$ років – термін роботи апарата.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c = c_1 = 0,12 \cdot 15 = 1,8 \text{ мм};$$

$$S_{II} = 0,58 + 1,8 = 2,38 \text{ мм}.$$

Приймаємо $S_{II} = 4 \text{ мм}$.

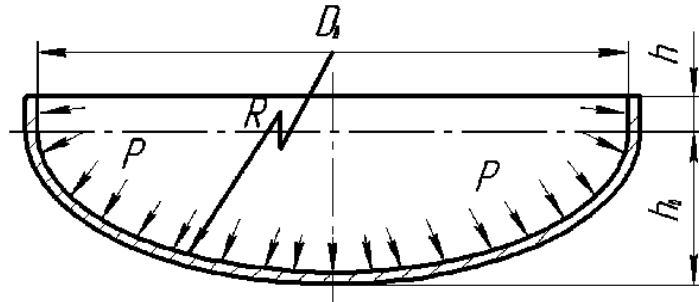


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища

Розрахункова товщина еліптичного днища:

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_P} \\ \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \end{array} \right\}, \quad (31)$$

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,25 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 200 - 0,5 \cdot 0,25} = 0,5 \text{ мм} \\ \frac{0,37 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 255 - 0,5 \cdot 0,37} = 0,58 \text{ мм} \end{array} \right\} = 0,58 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина еліптичного днища:

$$S_E \geq S_P^E + c, \quad (32)$$

$$S_E = 0,58 + 1,8 = 2,38 \text{ мм}.$$

Також приймаємо $S_E = 4 \text{ мм}$.

3.2 Розрахунок опори апарата [13]

Знаходимо масу обичайки кожуха:

$$m_{\kappa} = \left[\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{\text{ц}})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (28)$$

де ρ – щільність сталі, $\rho = 7890 \text{ кг/м}^3$.

$$m_{\kappa} = \left[\frac{3,14 \cdot (0,8 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \right] \cdot 3 \cdot 7890 = 239 \text{ кг.}$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно:

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho, \quad (29)$$

$$m_{E_{\text{дн}}} = m_{E_{\text{кр}}} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 25 \text{ кг.}$$

Маса труб:

$$m_{\text{тр}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho, \quad (30)$$

$$m_{\text{тр}} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,02^2) \cdot 3 \cdot 404 \cdot 7890 = 1689 \text{ кг.}$$

Маса фланця з решіткою:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (31)$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

де D_ϕ – зовнішній діаметр фланця, м;
 h_ϕ – висота фланця, м.

$$m_\phi = \frac{3,14 \cdot 0,945^2}{4} \cdot 0,09 \cdot 7890 = 498 \text{ кг.}$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{\text{мтр}} = f_{\text{мтр}} \cdot H, \quad (32)$$

$$V_{\text{мтр}} = 0,3 \cdot 3 = 0,9 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення $\varphi=0,5$ маса етанолу в апараті складе:

$$m_x = V_{\text{мтр}} \cdot \rho_x \cdot \varphi, \quad (33)$$

$$m_x = 0,9 \cdot 738 \cdot 0,5 = 332 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_\kappa + m_{\text{Едн}} + m_{\text{Екр}} + m_{\text{мр}} + m_\phi + m_x), \quad (34)$$

$$G = 9,81 \cdot (239 + 25 + 25 + 1689 + 498 + 332) = 27546 \text{ (Н)}.$$

Приймаємо кількість опор $n = 2$ шт.

Навантаження на одну опору буде становити:

$$Q = \frac{G}{n}, \quad (35)$$

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$Q = \frac{27546}{2} = 13773 \text{ (Н)}.$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору 160-432-2, яка має допустиме навантаження 160 кН і радіус $R=432$ мм (схема сідлової опори див. рис. 3.3).

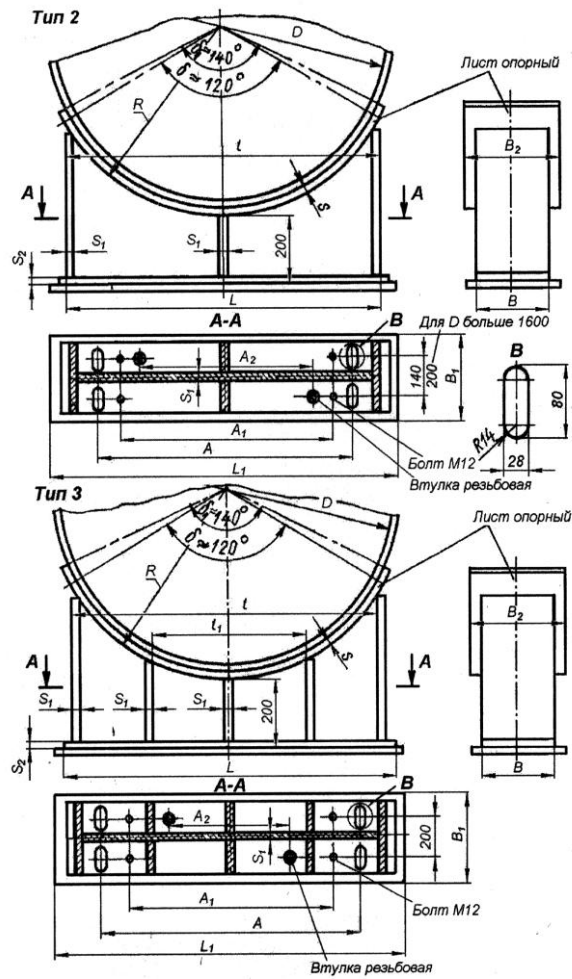


Рисунок 3.3 – Конструктивна схема сідлової опори

4 МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТУ

4.1 Монтаж конденсатора [14]

Досягнення найбільш раціонального розміщення обладнання, будівель, споруд, трубопроводів і комунікацій у просторі проектованого об'єкта є важливим етапом проектування, який вимагає урахування та оптимізації численних факторів, таких як технічні вимоги, економічні обмеження, надійність, безпека та інші. Під раціональним розміщенням устаткування, будівель і споруд розуміється таке планування об'єкта, в якому одночасно враховуються наступні фактори, дотримуючись чинних норм та правил:

1. Забезпечення технологічної послідовності виробничого процесу.
2. Мінімізація протяжності комунікаційних систем.
3. Мінімізація габаритів будівель, споруд, виробничих площ та територій об'єкта загалом.
4. Забезпечення надійності, безпеки та зручності експлуатації об'єкта.
5. Забезпечення зручності проведення ремонтних робіт на об'єкті.
6. Максимізація блокування будівель та використання будівельно-монтажних технологій під час будівництва об'єкта.

Для компоновання проекту використовуються основні елементи, такі як технологічна схема, специфікація технологічного обладнання та технологічні завдання для розробки всіх взаємопов'язаних частин проекту. Під час проектування виробництва одним із найважливіших завдань є забезпечення транспортування речовин між окремими апаратами у технологічній схемі. Вибір методу транспортування речовин і типу пристроїв залежить від фізико-хімічних властивостей та агрегатного стану переносимого середовища, часу, необхідного для транспортування, режиму роботи апаратів (періодичний, безперервний) і економічної доцільності. При виборі методу транспортування речовин також враховується важлива роль забезпечення безпеки виробництва.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		38

У структурі з'єднань трубопроводів можна виділити два типи з'єднань: прості, які з'єднують лише два апарати, і розгалужені, які з'єднують три або більше апаратів, де один зазвичай є джерелом, а решта є стоками або навпаки.

При трасуванні трубопроводів слід дотримуватися певних правил:

- Вибір напрямків трасування повинен відповідати вимогам технологічної схеми і економічної доцільності.
- Трубопроводи повинні проектуватися уздовж проходів всередині блоків, контейнерів і доріг.
- У місцях прокладки трубопроводів слід передбачати доступ для засобів пожежогасіння, підйомних механізмів і обладнання.
- Трубопроводи слід проектувати з нахилом, що дозволяє повністю їхнє спорожнення у технологічну апаратуру або дренажні ємності.

При проектуванні трубопроводу необхідно забезпечити:

- Безпечну та надійну експлуатацію в межах нормативного терміну.
- Відповідність технологічним параметрам ведення технологічного процесу.
- Можливість виробництва монтажних і ремонтних робіт з використанням засобів механізації.
- Захист від корозії, блискавки і статичної електрики.
- Запобігання утворенню пробок (крижаних, гідратних тощо) в трубопроводі.
- Можливість нагляду за технічним станом трубопроводу.
- Вибір діаметра трубопроводів на основі гідравлічного розрахунку та продуктивності.

Технологія монтажу кожухотрубчастих конденсаторів, залежить від їхнього місця та способу установки. Вони можуть бути встановлені на відкритому майданчику (на нульовій позначці), на постаменті або всередині будівлі, горизонтально або вертикально.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		39

У випадку горизонтальних теплообмінників, як у нашому випадку, які розташовані на відкритому майданчику на нульовій позначці, фундаменти виконуються у вигляді двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами як опори. Теплообмінники, що монтується на висотних металевих конструкціях або всередині будівель, не вимагають спеціальних фундаментів, але прикріплюються до металевих конструкцій або балок перекриття будівель.

Під час монтажу горизонтальних теплообмінників, що встановлюються на нерухомих і рухомих опорах, гайки на болтах не закручуються повністю, залишаючи зазор 1–2 мм, щоб апарат міг вільно переміщуватись в горизонтальній площині. При використанні роликів опор перевіряють рівномірність прилягання роликів до опорних поверхонь і їх перпендикулярність осі апарату. Горизонтальність апарату перевіряється за допомогою рівня.

У деяких випадках під час монтажу здійснюється контрольне розбирання (ревізія) кожухотрубчастих теплообмінників. Це включає перевірку наявності прокладок, повноту комплекту знімних деталей та правильне їх взаємне розташування.

Для виявлення дефектів у розвальцьовуванні і обварці трубок, трубний пучок спресовують (при знятій розподільній камері і кришці), за допомогою подачі води в міжтрубний простір. При цьому також проводиться огляд корпусу теплообмінника. Якщо виявляються дефекти розвальцьовування або обварки, вони усуваються.

Горизонтальне обладнання монтується за допомогою одного або двох (спарених) кранів. Вибір способу підйому і вантажопідйомності кранів залежить від розміру і маси обладнання, висоти і конфігурації фундаменту або постаменту, наявності будівельних конструкцій у непосредствених близькості та інших факторів.

Для особливо великих горизонтальних апаратів або випадків, коли їх необхідно піднімати на велику висоту, часто використовують два крани для монтажу.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		40

Монтаж починається з підняття апарату з його вихідного горизонтального положення, не відриваючи його від землі. Якщо установка одного з кранів зовнішньою стороною фундаментів неможлива, то монтаж апаратів здійснюється шляхом маневрування стрілою крана. У випадках, коли неможливо розташувати крани зовнішньою стороною фундаментів і проїхати між фундаментами при підйомі апаратів, використовуються такі методи: збільшення виліту стріли кранів або переміщення кранів з піднятим апаратом в межах їх вантажопідйомності.

4.2 Ремонт основних вузлів конденсатора [14]

Теплообмінники з трубною системою відрізняються підвищеною надійністю, що забезпечує безперебійну роботу на протязі тривалого періоду. Однак слід пам'ятати, що заплановане технічне обслуговування є обов'язковим для профілактики можливих поломок. Часом циркулююча теплоносій забруднює тонкостінні трубки, осідаючи на них і перешкоджаючи нормальному потоку. Регулярне очищення трубок допомагає уникнути передчасного виходу обладнання з ладу і зберегти його енергоефективність. Систематичне промивання дозволяє підтримувати робочі параметри належним чином протягом тривалого періоду. Щодо ремонту кожухотрубчастих теплообмінників, у більшості випадків він необхідний лише в разі серйозного зносу обладнання.

У деяких ситуаціях може відбутись серйозна поломка - виривання трубок з трубних решіток теплообмінника. Це становить загрозу, оскільки трубки відкриваються або виходять з-під закріплення у решітках. Ця поломка може призвести до порушення герметичності системи та витoku теплоносія або інших робочих речовин.

Причинами виривання трубок можуть бути різні механічні навантаження, такі як удари, вібрація або значні тискові навантаження.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		41

Недостатня міцність закріплення трубок у решітках, послаблення з'єднань або корозія також можуть сприяти виникненню цієї поломки.

Виривання трубок є серйозним інцидентом, оскільки може призвести до зупинки роботи теплообмінника, втрати його ефективності і необхідності проведення ремонту. Швидке виявлення і вирішення проблеми виривання трубок є критичним для забезпечення безперебійної роботи теплообмінного обладнання.

Корозія теплообмінних трубок є поширеною формою поломки, що виникає внаслідок хімічної реакції між матеріалом трубок та навколишнім середовищем. Ця поломка проявляється у зменшенні міцності та товщини стінок трубок, що може призвести до прориву або протікання.

Корозія теплообмінних трубок може бути спричинена різними факторами, такими як хімічні реакції з агресивними речовинами, електрохімічні процеси, вплив вологості, температурний стрес і інші. В результаті цих процесів утворюються корозійні плями, відшаровування матеріалу та утворення отворів на поверхні трубок.

Ця поломка характеризується зниженням ефективності теплообміну, витоком теплоносія або інших робочих речовин, зменшенням тискостійкості та загрозою безпеки. Крім того, корозія може призводити до забруднення трубок та утворення відкладень, що зменшує пропускну здатність теплообмінника і підвищує його опір.

Для забезпечення тривалої та безперебійної роботи системи теплообміну важливо вчасно виявляти і запобігати корозії теплообмінних трубок. Регулярне контрольне обстеження, застосування захисних покриттів та правильний вибір матеріалів трубок можуть сприяти запобіганню корозії та збереженню надійності теплообмінника.

Корозія корпусу або розподільної камери теплообмінника є серйозною поломкою, яка виникає внаслідок хімічних реакцій між матеріалом корпусу або розподільної камери і навколишнім середовищем. Це може бути в

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		42

результаті взаємодії з агресивними речовинами, електрохімічних процесів, впливу вологості, температурного стресу та інших факторів.

Характеристика поломки корпусу або розподільної камери теплообмінника внаслідок корозії включає зниження міцності та цілісності конструкції, появу корозійних плям, відшаровування та прогрізання матеріалу, а також можливість протікання теплоносія або інших робочих речовин. Крім того, корозія може призвести до зменшення ефективності теплообміну та створення загрози безпеці експлуатації.

Запобігання корозії корпусу або розподільної камери теплообмінника є важливим завданням для забезпечення тривалої та надійної роботи системи теплообміну. Цього можна досягти шляхом використання відповідних матеріалів, які володіють високою стійкістю до корозії, застосування захисних покриттів, регулярного контролю стану поверхні та своєчасного проведення профілактичного обслуговування та очищення.

Урахування впливу корозії при проектуванні та експлуатації теплообмінника допоможе підтримувати його ефективність, тривалу роботу та забезпечити безпеку процесу.

Засмічення трубок або міжтрубного простору теплообмінника є поширеною проблемою, що впливає на його ефективність та надійність. Засмічення може виникати через накопичення відкладень, бруду, іржі, відмерлих організмів, маслянистих речовин, накипу, солей та інших забруднень у трубках або міжтрубному просторі.

Характеристика поломки від засмічення трубок чи міжтрубного простору теплообмінника включає зниження пропускної здатності, підвищений опір теплопередачі, збільшення теплового опору, погіршення робочих параметрів теплообміну, збільшення енергоспоживання та можливість перегріву обладнання. В результаті може виникнути зменшення продуктивності системи теплообміну, погіршення якості обробки теплоносія та вплив на загальну ефективність системи.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		43

Запобігання засміченню трубок чи міжтрубного простору теплообмінника включає регулярне обслуговування, промивання, очищення та догляд. Це можна досягти шляхом використання фільтрів, водоочистних систем, регулярного контролю та очищення трубок, використання відповідних хімічних препаратів для розчинення накипу та забруднень, а також підтримки оптимальних умов експлуатації.

Утворення вапняного накипу чи інших відкладень на поверхнях теплообмінника є поширеною проблемою, яка може негативно впливати на його функціонування. Накип часто утворюється в результаті накопичення вапняних солей, осадів твердих частинок, мінеральних речовин або інших розчинних забруднень у системі теплоносія.

Характеристика поломки від утворення вапняного накипу чи інших відкладень на поверхнях теплообмінника включає зниження пропускної здатності, зменшення ефективності теплопередачі, збільшення теплового опору та підвищення споживання енергії. Накип може обмежувати потік теплоносія, спричиняти перегрів та сприяти корозії поверхонь теплообмінника.

Запобігання утворенню вапняного накипу чи інших відкладень на поверхнях теплообмінника включає регулярне технічне обслуговування, промивання, догляд та використання відповідних методів та хімічних розчинників. Це може означати використання систем водоочистки, додавання інгібіторів накипоутворення, регулярне промивання теплообмінника та очищення поверхонь від відкладень.

Ефективне управління та попередження утворення вапняного накипу чи інших відкладень на поверхнях теплообмінника допоможе забезпечити нормальну роботу системи теплообміну, зберегти його продуктивність та знизити загальні витрати енергії на виконання процесу.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Метеорологічні умови у виробничих приміщеннях.

Нормування параметрів мікроклімату [15]

Метеорологічні умови в виробничих приміщеннях охоплюють параметри температури, вологості, швидкості повітря, освітленості та інших факторів, що впливають на комфорт, безпеку та продуктивність працівників. Оптимальні метеорологічні умови виробничого середовища залежать від типу діяльності, обладнання та специфіки робочого процесу. Деякі загальні принципи для забезпечення комфортних метеорологічних умов виробничих приміщень включають:

1. **Температура.** Забезпечення прийнятної температури виробничих приміщень, яка враховує фізіологічні потреби працівників та вимоги робочих процесів.
2. **Вологість.** Контроль рівня вологості повітря для запобігання надмірної сухості або занадто високої вологості, що може негативно впливати на здоров'я і комфорт працівників, а також на деякі види обладнання та матеріалів.
3. **Швидкість повітря.** Керування швидкістю повітря, щоб уникнути драфту або надмірного затримання тепла, а також забезпечити ефективну циркуляцію повітря.
4. **Освітлення.** Надання належного рівня природного або штучного освітлення в залежності від виду роботи та вимог безпеки та якості продукції.
5. **Інші фактори.** Контроль рівня шуму, концентрації шкідливих речовин у повітрі та інших специфічних параметрів, що можуть впливати на здоров'я та безпеку працівників.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		45

Забезпечення оптимальних метеорологічних умов виробничих приміщень можна досягти за допомогою таких заходів:

1. Адекватне опалення та кондиціонування повітря для підтримки комфортної температури у виробничих приміщеннях. Це може включати встановлення систем опалення, кондиціонерів, вентиляційних систем та регулювання їх параметрів відповідно до потреб.
2. Контроль вологості повітря за допомогою використання вбудованих вентиляційних систем, осушувачів повітря або зволожувачів. Таким чином можна забезпечити оптимальний рівень вологості для комфорту та здоров'я працівників.
3. Розробка ефективної системи циркуляції повітря, яка дозволяє зменшити драфт та забезпечити рівномірний розподіл тепла та повітря у приміщенні. Це може включати встановлення вентиляторів або систем регуляції потоку повітря.
4. Оптимізація освітлення, забезпечення достатньої кількості природного світла, а також використання енергоефективних освітлювальних систем. Це допоможе забезпечити належну освітленість та зменшити навантаження на очі працівників.
5. Регулярна перевірка та обслуговування систем опалення, вентиляції, кондиціонування та освітлення для забезпечення їх належної роботи та виключення можливих проблем.
6. Використання спеціальних захисних засобів, таких як ізоляційні матеріали, фільтри повітря, що можуть зменшити вплив шкідливих речовин та пилу на працівників.

Забезпечення комфортних та безпечних метеорологічних умов виробничих приміщень:

1. Встановлення терморегуляторів і термостатів для точного контролю температури у різних зонах виробничих приміщень. Це дозволить

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		46

приспосовувати умови до конкретних потреб працівників і забезпечити оптимальну температуру в різних ділянках.

2. Розробка графіку провітрювання, встановлення вікон або вентиляційних систем, які забезпечать постачання свіжого повітря у виробничі приміщення. Це особливо важливо у випадку роботи зі шкідливими речовинами або виробництва, пов'язаного з видаленням шкідливих випарів.
3. Використання штор або розділювальних систем для зменшення протягів і створення комфортних робочих зон. Це може бути особливо корисним у великих приміщеннях або на відкритих площадках, де вплив вітру може створювати незручності для працівників.
4. Регулярне очищення та обслуговування систем вентиляції, фільтрів повітря та інших пристроїв для забезпечення належної якості повітря у виробничих приміщеннях. Це сприятиме зменшенню пилу, алергенів та інших забруднюючих речовин у повітрі.
5. Постачання води та спеціальних засобів для зволоження повітря в приміщеннях з низькою вологістю. Це допоможе забезпечити комфортні умови для дихання і шкіри працівників, особливо в зимовий період або у приміщеннях зі штучним кондиціонуванням.

Нормування параметрів мікроклімату виробничих приміщень проводиться з метою забезпечення комфорту, здоров'я та безпеки працівників. Норми визначаються відповідно до законодавства та нормативних документів країни. Україна має свої нормативні вимоги для мікроклімату на робочих місцях, викладені в Санітарних нормах і правилах "Мікроклімат робочих зон" (СНиП 2.2.4-171-10), а також в нормативних документах Державного санітарного нагляду.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

Основні параметри мікроклімату, що нормуються, включають:

1. Температура повітря: Зазвичай норми встановлюються для різних типів робочих зон. Наприклад, для приміщень з легкою фізичною працею температура повітря повинна знаходитися в діапазоні від 20 до 24 °С, а для приміщень з важкою фізичною працею – від 16 до 20 °С.
2. Вологість повітря: Норми встановлюються для максимально допустимого вмісту вологи в повітрі. Зазвичай встановлюється відносна вологість в діапазоні від 40 % до 60 %.
3. Швидкість руху повітря: Норми встановлюються для максимально допустимої швидкості повітря в робочій зоні. Зазвичай швидкість повітря не повинна перевищувати 0,1 м/с для зон зі спокійним режимом роботи та 0,5 м/с для зон з активним фізичним навантаженням.
4. Освітленість: Норми встановлюються для мінімального рівня освітленості в робочих зонах. Наприклад, для приміщень з невисокою точковою освітленістю норми можуть становити 150-200 лк, а для робочих зон, де водночас виконується вимоги до точкової освітленості, норми можуть бути вищими – наприклад, 500-750 лк.
5. Рівень шуму: Норми встановлюються для максимально допустимого рівня шуму на робочих місцях. Вони можуть варіюватися залежно від типу робочих зон та характеру виробничого процесу. Зазвичай норми встановлюють рівень шуму не більше 70 дБА для роботи в офісних приміщеннях та 85 дБА для промислових зон.
6. Коефіцієнт перебування у приміщенні: Норми можуть включати вимоги до кількості свіжого повітря, що поступає в приміщення на одного працівника. Зазвичай рекомендується забезпечувати не менше 20 м³/год. свіжого повітря на одного працівника.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		48

7. Рівень вентиляції: Норми вентиляції встановлюються для забезпечення належної циркуляції повітря та видалення забруднень. Це може включати встановлення системи штучної вентиляції або забезпечення природного провітрювання приміщення. Норми вентиляції залежать від типу діяльності та кількості працюючих осіб.
8. Рівень іонізації повітря: Норми іонізації повітря можуть встановлюватися для покращення якості повітря в приміщеннях. Позитивні й негативні іони можуть впливати на здоров'я та настрої працівників. Вимоги до рівня іонізації повітря можуть варіюватися від позитивних до негативних залежно від умов і вимог працівника.
9. Контроль якості повітря: Норми можуть включати вимоги до контролю якості повітря в приміщеннях, включаючи перевірку рівня викидів шкідливих речовин, наявності алергенів, бактерій, грибків та інших забруднень. Це може включати регулярний аналіз повітря та вжиття заходів для забезпечення чистоти та безпеки повітря в приміщеннях.

Вищезазначені нормативні вимоги можуть варіюватися залежно від типу виробництва, характеру роботи та інших факторів. Рекомендується дотримуватись встановлених норм для забезпечення здорового та комфортного робочого середовища для працівників.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

ЛІТЕРАТУРА

1. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с.
2. Таубман Е. И. Контактные теплообменники / Е. И. Таубман [и др.]. – Москва : Химия, 1987. – 256 с.
3. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.
4. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
5. 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.
6. 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.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
8. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
9. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

10. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

11. 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.

12. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.

13. 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 [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

14. 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.

15. Рогач І.М. Охорона праці в лікувально-профілактичних та санаторних закладах : Навчально-методичний посібник / І.М. Рогач, Р.І. Шніцер, С.П. Козодаєв. – Ужгород : Ужгородський національний університет, 2011. – 38 с.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51