

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_

підпис, дата

## Кваліфікаційна робота бакалавра

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

Тема роботи: Ректифікаційна установка. Розробити горизонтальний теплообмінник для конденсації парів етанолу.

Виконав:  
студент групи ХМ-91/Зкі-1  
Сергієнко Андрій Романович

\_\_\_\_\_

підпис

Залікова книжка  
№ 21510037

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

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 ХМ-91/3кі-1    Семестр 8

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студент Сергієнко Андрій Романович

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка. Розробити горизонтальний теплообмінник для конденсації парів етанолу.

2 Вихідні дані: Розробити кожухотрубчастий теплообмінник для конденсації парів етанолу, які проходять по міжтрубному простору під тиском 0,2 Мпа у кількості 8000 кг/год. У якості холодного теплоносія використовується вода технічна з початковою температурою 20°C

Питання до розділу «Охорона праці»: Основні методи пожежогасіння. Вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальний кресленик кожухотрубчастого випарника – 1,0 арк.
3. Складальні кресленики вузлів – 1,5 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		xxx			
3 Проектно-конструкторська частина			x		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

лютий 2022 р.

Керівник

\_\_\_\_\_  
підпис

доц. Острога Р.О.

## Зміст

Вступ

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

1.2 Теоретичні основи процесу

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

2.1 Технологічні розрахунки

2.2 Конструктивні розрахунки

2.3 Гідравлічний опір апарата

2.4 Вибір допоміжного обладнання

3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

3.2 Розрахунок опори апарата

4 Монтаж та ремонт апарата

4.1 Монтаж розробленого апарата

4.2 Ремонт апарата

5 Охорона праці

Список літератури

Додаток – Специфікації

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>							
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>		
<i>Розраб.</i>		<i>Сергієнко</i>			<b>Теплообмінник кожухотрубний</b>			<i>к</i>	<i>р</i>	<i>б</i>	1	59
<i>Перев.</i>		<i>Острога</i>						<b>Гр. ХМ-91/Зкі-1</b>				
<i>Н. Контр.</i>												
<i>Затв.</i>		<i>Острога</i>										

## Вступ

Кожухотрубчасті теплообмінники - це пристрої, які передають тепло між двома рідинами за допомогою кожуха (великої посудини під тиском), що містить пучок трубок. У хімічній, нафтовій і харчовій промисловості кожухотрубні теплообмінники незамінні. Вони використовуються для виконання широкого спектру завдань, пов'язаних з передачею тепла від однієї рідини до іншої. Кожухотрубчасті теплообмінники можуть працювати при високих тисках і температурах, а також можуть працювати з різними типами рідин з боку кожуха або трубок[2].

У хімічній та суміжних галузях промисловості теплообмінники складають значну частину технологічного обладнання. Питома вага теплообмінного обладнання на підприємствах складає в середньому 15-18 % на підприємствах хімічної промисловості та 50 % на підприємствах нафтохімічної та нафтопереробної промисловості [8]. Це можна пояснити тим, що практично всі теплообмінники. Це пов'язано з тим, що майже всі основні процеси хімічного виробництва (випарювання, ректифікація, сушіння тощо) пов'язані з необхідністю підведення та відведення теплоти.

Залежно від кількості проходів, форми труб і розташування трубних листів, кожухотрубні теплообмінники можуть бути спроектовані різними способами<sup>2</sup>. Кількість ходів означає кількість разів, яку рідина в трубках проходить через кожухотрубний пучок. Трубки можуть бути прямими або зігнутими в U-подібну форму, так звані U-трубки. Листи трубок - це металеві пластини, які утримують трубки на місці. Вони також розділяють рідини на кожному кінці кожуха. Кожухотрубчасті теплообмінники можуть мати кілька переваг і недоліків залежно від їх конструкції. До них відносяться ефективність, вартість, технічне обслуговування, вимоги до простору і перепад тиску[1][4].

Дистиляція, виробництво етиленоксиду/етиленгліколю, рекуперація парів і виробництво електроенергії - ось деякі приклади хімічних процесів, в яких використовуються кожухотрубні теплообмінники. У дистиляції для підігріву подачі в ректифікаційну колону або для конденсації пари над колоною використовуються кожухотрубні теплообмінники.

Кожухотрубні теплообмінники використовуються для охолодження і конденсації продукту оксиду етилену або для попереднього підігріву етилену у виробництві оксиду етилену/етиленгліколю. У галузі рекуперації парів кожухотрубні теплообмінники використовуються для конденсації летких органічних сполук (ЛОС) з газових потоків.

В енергетиці кожухотрубні теплообмінники використовуються для кип'ятіння води з парою або пари з водою [3][4][5].

З розвитком нафтової та хімічної промисловості, які потребували ефективного і надійного теплообмінного обладнання для різних процесів, кожухотрубні теплообмінники стали більш популярними і поширеними в 20 столітті. Трубчасті теплообмінники з часом еволюціонували, щоб відповідати мінливим потребам і викликам різних застосувань, включаючи високий тиск і температуру, агресивні рідини, стійкість до забруднення, компактні розміри і економічність [2].

Сьогодні кожухотрубні теплообмінники доступні в широкому діапазоні конструкцій, розмірів, матеріалів і конфігурацій і залишаються найпоширенішим типом теплообмінників у багатьох галузях промисловості [6].

**Теплообмінники можуть використовуватися для різних цілей, таких як:**

- Нагрівання або охолодження рідин або газів для різних процесів або застосувань
- Утилізація відпрацьованого тепла від промислових процесів або процесів виробництва електроенергії
- Фазові зміни або розділення шляхом конденсації або випаровування рідин
- Регенерація тепла циклічних процесів або масообмінних середовищ
- Покращення швидкості хімічних реакцій або каталітичних перетворень

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра була виконана відповідно до методичних рекомендацій [7] та з дотриманням усіх нормативних вимог.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<small>Лист</small>
<small>Изм.</small>	<small>Лист</small>	<small>№ докум</small>	<small>Підпис</small>	<small>Дата</small>		3

# 1. Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установк

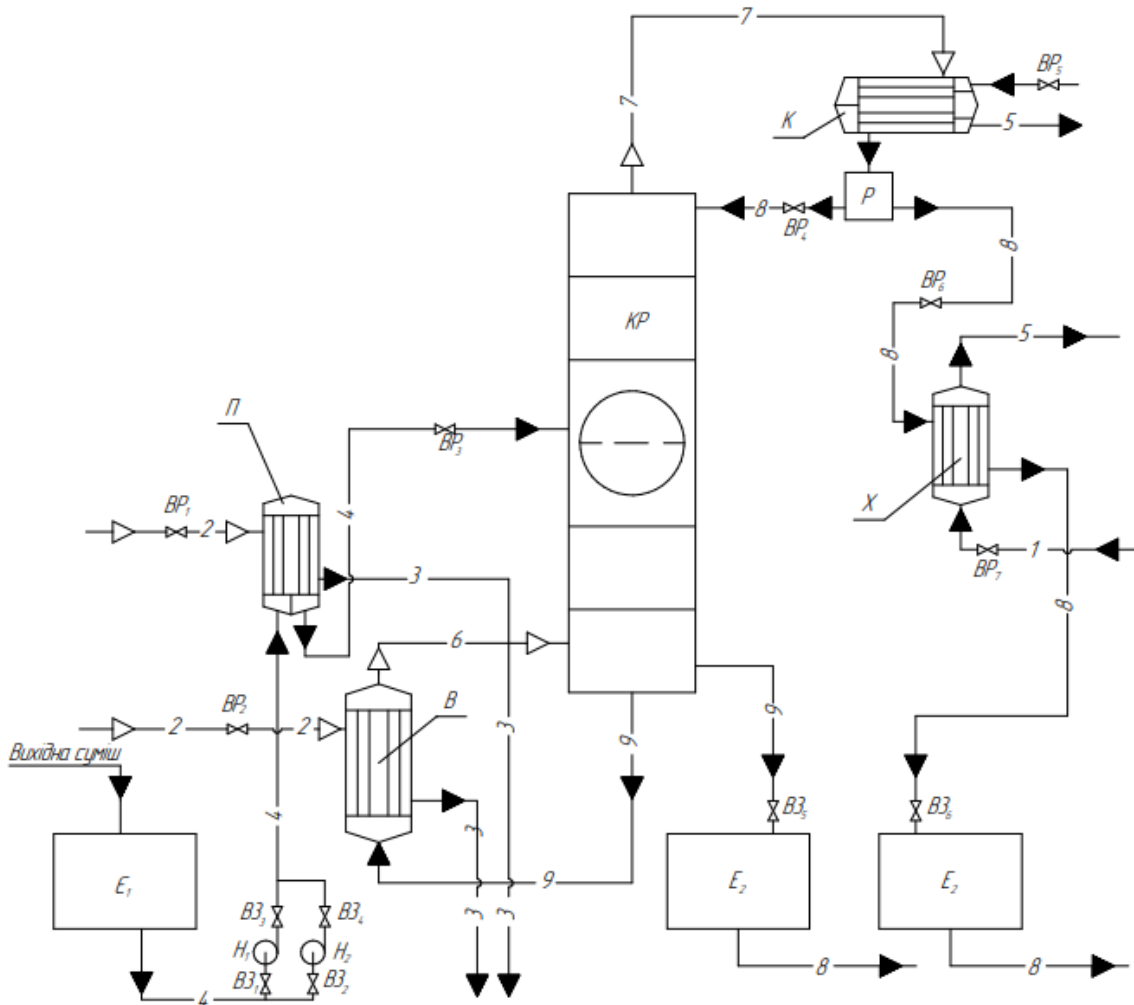


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установк безперервної дії у виробництві етанолу у складі з конденсатором

Позначення обладнання: КР – Колона ректифікаційна, К – Конденсатор, В – Випарник, П – Підігрівач, Х – Холодильник, Е<sub>1-3</sub> – Ємність, Р – Розподілювач, Н<sub>1-2</sub> – Насос, ВР<sub>1-7</sub> – Вентель регулюючий, ВЗ<sub>1-6</sub> – Вентель запірний

Позначення трубопроводів: 1- Вода оборотна(подача), 2 – Пара, 3 – Конденсат, 4 – Вихідна суміш, 5 – Вода оборотна, 6 – Кубова пара, 7 – Пара дистилляту (етанол), 8- Рідкий дистиллят (етанол), 9 – Кубовий залишок

Робота цієї дистиляційної установк відбувається наступним чином. Вихідна бінарна суміш з ємності Е<sub>1</sub> насосами Н<sub>1</sub> і Н<sub>2</sub> подається в підігрівач П, де нагрівається до температури кипіння за рахунок тепла гріючої пари, яка конденсується в просторі між трубками підігрівача. Нагріта до температури

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

4

кипіння суміш надходить в колону ректифікаційної тарілки. Склад рідини на ректифікаційній тарілці відповідає складу вихідної суміші.

Кубовий залишок охолоджується і перекачується до споживача з нижньої частини колони. Частина кубового залишку з нижньої частини колони надходить у вертикальний випарник И , де відбувається кипіння кубової рідини за рахунок тепла насиченої пари, що впорскується в простір між трубками. Остання повертається в колону, під її нижню тарілку, у вигляді парового зрошення.

За рахунок їх багатоступеневого контакту у верхній частині колони відбувається процес укріплення парів НКК на тарілках з осадом, що стікає зверху вниз разом з осадом. Низькокиплячим компонентом є етанол, як і було задано для кваліфікаційної роботи.

У нижній частині ректифікаційної колони відбувається наступний процес виснаження ВКК

Пари етанолу, що виходять з верхньої частини колони, потрапляють в трубчастий конденсатор К. Вони конденсуються за рахунок передачі тепла технічній воді, що циркулює в трубках. Частина утвореного конденсату видаляється і рециркулює в колону для очищення. Друга частина дистиляту охолоджується в холодильнику Х і направляється в контейнер-збірник Е2 як готовий продукт з високим вмістом етанолу

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Надалі у данному розділі буде описано теоретичні основи процесу теплообміну різних типів теплообмінників, які аналізовані з джерел [8-10].

**Теплопередача** - це рух тепла між двома або більше середовищами з різною температурою. Для передачі тепла можна використовувати теплопровідність, конвекцію або випромінювання. Збереження енергії (перший закон термодинаміки): Принцип, згідно з яким повна енергія залишається постійною в закритій системі, називається збереженням енергії. Цей принцип означає, що повна теплова енергія, передана від однієї рідини до іншої, повинна зберігатися протягом усього процесу в контексті кожухотрубного теплообмінника.

Основне рівняння теплопередачі:

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

де  $F$  – поверхня теплопередачі,  $m^2$

$\Delta t_{cp}$  – середня температура процесу;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі,  $Вт/(m^2 \cdot K)$ ;

$Q$  – теплове навантаження,  $Вт$

**Теплопровідність:** Теплопровідність відноситься до передачі тепла за допомогою прямого контакту між твердою стінкою трубки і рідиною, як з боку трубки, так і з боку кожуха. Теплопровідність матеріалів і різниця температур на стінці трубки визначають швидкість теплопередачі.

**Конвекція** - це передача тепла між твердою поверхнею і рідиною, що рухається. У кожухотрубному теплообміннику конвекція відбувається між стінкою трубки і рідиною, що протікає з боку трубки або кожуха. Такі параметри, як швидкість рідини, різниця температур і коефіцієнт тепловіддачі, визначають швидкість теплопередачі при конвекції.

**Теплове випромінювання:** Хоча випромінювання зазвичай незначне в порівнянні з теплопровідністю і конвекцією в кожухотрубному теплообміннику, воно все ж може сприяти передачі тепла в умовах високої температури або в певних умовах застосування. На випромінювання впливають такі фактори, як температура, поверхнева випромінювальна здатність і видимість, і воно відноситься до передачі тепла за допомогою електромагнітних хвиль.

**Середньоквадратична різниця температур:** Середньоквадратична різниця температур - це важлива концепція, яка використовується для визначення температурної рушійної сили теплопередачі в кожухотрубному теплообміннику. Воно враховує середню логарифмічну різницю температур між гарячою і холодною рідинами, коли вони протікають одна через одну. Використовується при розрахунку загального коефіцієнта тепловіддачі і необхідної площі теплообміну для ефективного теплообміну.



**Теплообмінник** - це пристрій, в якому тепло обмінюється між двома різними теплоносіями, які не вступають в безпосередній контакт один з одним, наприклад

### Класифікація теплообмінників:

Класифікація теплообмінників відбувається на основі наступних характеристик:

- Принцип дії за способом передачі тепла: поверхневі, де теплообмін відбувається через стінку та змішувальні;
- за призначенням: охолоджувальні, нагрівальні, конденсаційні, випарні;
- за напрямком руху теплоносіїв: прямоточні, протиточні, перехресні тощо.

Більш детальною є класифікація теплообмінників за принципом дії. Згідно з цією класифікацією, в залежності від типу поверхні теплообміну, поверхневі апарати можна розділити на наступні типи:

- Кожухотрубчасті теплообмінники: Цей тип теплообмінника складається з пучка трубок, укладених в оболонку. Одна рідина протікає всередині трубок (сторона трубок), тоді як інша рідина протікає зовні трубок всередині оболонки (сторона оболонки).
- Пластинчасті теплообмінники: Пластинчастий теплообмінник складається з ряду металевих пластин з рифленою поверхнею. Пластини розташовані таким чином, що дві рідини протікають в окремих каналах. Це забезпечує ефективну передачу тепла.
- Ребристі теплообмінники: Ребристі теплообмінники мають розширені поверхні (ребра), прикріплені до поверхні теплопередачі. Ребра збільшують площу теплообміну. Це підвищує ефективність теплопередачі.
- Спіральні теплообмінники: Спіральний теплообмінник складається з двох довгих смуг металу, які намотані одна на одну, утворюючи спіралеподібний прохід. Така конструкція забезпечує велику площу теплообміну в компактному просторі.

### Залежно від потоку течії:

- Теплообмінники з паралельним потоком: При паралельному потоці холодна рідина надходить з одного кінця теплообмінника і поступово нагрівається в міру просування вздовж обичайки, отримуючи тепло від гарячої рідини. Різниця температур між двома рідинами зменшується в міру їх зближення. Гаряча рідина, в свою чергу, охолоджується, передаючи тепло холодній рідині. Температура обох рідин на виході буде між температурами на вході, але зміна температури буде меншою порівняно з протитечею.

- Протиточні теплообмінники: При протитечії гаряча рідина надходить з одного кінця теплообмінника, а холодна рідина - з протилежного. Рідини рухаються в протилежних напрямках, що забезпечує більшу різницю температур по довжині теплообмінника. Таке розташування максимізує загальну тепловіддачу і призводить до максимально можливої різниці температур між гарячим і холодним теплоносіями на відповідних вихідних кінцях.

- Перехресні теплообмінники: При перехресному потоці холодна рідина тече перпендикулярно до напрямку руху гарячої рідини. Коли холодна рідина протікає по зовнішній поверхні трубок, вона забирає тепло за рахунок конвекції. Коефіцієнт конвективної тепловіддачі, як правило, нижчий з боку кожуха, ніж з боку трубок, через менші швидкості рідини і можливе обтікання потоку. Температура холодної рідини підвищується, оскільки вона отримує тепло від трубок, і виходить з теплообмінника з підвищеною температурою. Теплообмінники з повітряним охолодженням зазвичай використовують цей тип конструкції.

Формула, що при прямоточі та протитоці теплоносіїв визначає середню температуру:

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

Де  $\Delta t_B$  і  $\Delta t_M$  – різниці температур (великої й малої) теплоносіїв на кінцях теплообмінника

### За механізмом теплопередачі:

- Традиційні теплообмінники: тепло передається між рідинами в традиційних теплообмінниках за допомогою теплопровідності, конвекції або випромінювання.
- Фазові теплообмінники: Фазові теплообмінники призначені для передачі тепла шляхом зміни фази, наприклад, конденсації або випаровування.
- Рекуперативні теплообмінники: Регенеративні теплообмінники поглинають і віддають тепло під час циклів нагрівання та охолодження за допомогою матриці або накопичувального матеріалу.

Температурні умови в теплообміннику, включаючи теплообмінник загального призначення, залежать від ряду факторів, таких як конструкція, властивості рідини і робочі параметри. Ось деякі з ключових **температурних умов**, які необхідно враховувати:

Температура на вході: Температура на вході - це температура гарячої та холодної рідини, що надходить в теплообмінник. Ці температури визначаються попередніми процесами або системами, що постачають рідини. При протитечійній схемі гарячий теплоносій надходить в теплообмінник з одного кінця теплообмінника, тоді як холодний теплоносій надходить з протилежного кінця теплообмінника. При паралельному потоці обидві рідини надходять з одного кінця.

Температура на виході: Температура на виході - це температура гарячої та холодної рідини на виході з теплообмінника. Теплообмін, який відбувається між рідинами, впливає на температуру на виході. Досягнення бажаних температур на виході для ефективного теплообміну є метою теплообмінника.

Різниця температур ( $\Delta T$ ): Критичним фактором при проектуванні теплообмінника і оцінці його продуктивності є різниця температур, що позначається як  $\Delta T$ . У будь-якій точці вздовж шляху потоку це різниця між температурами гарячої та холодної рідини.  $\Delta T$  впливає на швидкість теплопередачі і загальну ефективність теплообмінника.

Середня температура: В розрахунках теплообмінників часто використовується середня температура. Вона являє собою середню температуру між потоком гарячої рідини і потоком холодної рідини. Середню температуру можна визначити кількома методами. До них відносяться арифметична середня різниця температур, логарифмічна середня різниця температур або інші підходи, засновані на конкретних конфігураціях теплообмінника.

## **Фактори які можуть впливати на швидкість процесу теплообміну:**

Основними факторами, що впливають на швидкість тепловіддачі при конденсації пари (газу), є:

### **Фізичні параметри системи:**

- Тиск: Високий тиск пари сприяє більш інтенсивній конденсації.
- Температура: На швидкість теплопередачі впливає різниця температур між паром і поверхнею конденсації.
- Різниця температур між плівкою конденсату і поверхнею конденсації: Велика різниця температур сприяє швидкому охолодженню плівки конденсату і прискорює процес конденсації.

### **Фізичні та хімічні параметри конденсату:**

- Природа та хімічна структура конденсату: Різні речовини конденсуються з різною швидкістю. Наприклад, водяна пара конденсується швидше, ніж пара інших речовин.
- Щільність: Щільний конденсат може утворювати товстішу плівку на поверхні і, таким чином, сповільнювати передачу тепла.
- В'язкість: Більш в'язкий конденсат може створювати додатковий опір конденсації, що уповільнює швидкість передачі тепла.
- Поверхневий натяг: Високий поверхневий натяг може негативно впливати на розподіл конденсату на поверхні і знижувати швидкість тепловіддачі.

### **Теплові властивості конденсату:**

- Теплоємність: Для охолодження і конденсації конденсату необхідно передати велику кількість тепла через його високу теплоємність.
- Теплопровідність: Висока теплопровідність конденсату сприяє швидшій передачі тепла від поверхні краплі до поверхні конденсату.

### **Стан поверхні конденсації:**

- Гладка або шорстка поверхня: Через більшу площу контакту пари з поверхнею, шорстка поверхня може сприяти більшій конденсації.
- Орієнтація в просторі: На утворення і стікання конденсату, а отже, і на швидкість теплопередачі, може впливати горизонтальна або вертикальна орієнтація поверхні, що конденсує.
- Процес конденсації можна оптимізувати і досягти ефективної теплопередачі, враховуючи ці фактори при проектуванні систем теплообміну.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ докум	Підпис	Дата		10

Факторами, що впливають на швидкість теплопередачі і перепад тиску в теплообміннику, є статичні і кінетичні аспекти процесу.

1. Геометрія трубок, наприклад, їх діаметр, довжина, розташування і крок.
2. Геометрія сорочки, включаючи її діаметр, довжину і форму.
3. Кількість і тип перегорожок, які є пластинами, що спрямовують рідину з боку оболонки для протікання через трубки.
4. Швидкість забруднення, тобто накопичення відкладень на поверхнях трубок і оболонки, які знижують коефіцієнт тепловіддачі.

**Кожухотрубний теплообмінник** - це тип теплообмінника, який складається з кожуха, що містить пучок трубок, і рідини, яка протікає всередині трубок. Рідина в трубках обмінюється теплом з іншою рідиною, яка протікає поза трубками в кожусі. Складається з кожуха(циліндричної ємності) і пучка трубок, які розміщені всередині кожуха.

Рідини протікають через кожух і трубки, дозволяючи обмінюватися теплом між ними. Існує кілька різних типів кожухотрубчастих теплообмінників, кожен з яких має свою унікальну конструкцію і застосування.

### **Розглянемо деякі з цих типів і принцип їх роботи:**

1. Нерухомі трубчасті пластинчасті теплообмінники:  
Найпростіший і найпоширеніший тип - це нерухомий трубчастий теплообмінник. Трубчасті листи, приварені до корпусу, мають трубки, прикріплені на обох кінцях. Гаряча і холодна рідини протікають по різні боки трубок, причому одна рідина протікає через бічну частину кожуха, а інша - через бічну частину трубки. Тепло, що передається, проходить через стінки трубок.

2. U-трубчасті теплообмінники:  
У U-подібних теплообмінниках трубки зігнуті в U-подібну форму, один кінець закріплений на кожусі трубки, а інший кінець вільний для розширення або стиснення. Така конструкція допускає диференціальне теплове розширення між кожухом і трубним пучком. Залежно від бажаних характеристик теплопередачі, рідини течуть паралельно або протитечією.

### 3. Теплообмінники з плаваючою головкою:

Теплообмінники з плаваючою головкою призначені для роботи при високих температурах і перепадах тиску між рідинами і мають трубний пучок. Пучок труб оснащений плаваючою головкою, яка може рухатися всередині корпусу. Це зменшує навантаження на трубки за рахунок диференціального теплового розширення між корпусом і трубним пучком. Для обслуговування або очищення плаваючу головку можна зняти.

					ХІ.Т.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		12

## 1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів

Теплообмінник - це пристрій, який використовується для передачі тепла від одного середовища (рідини/газу) до іншого. У технологічних виробництвах існує кілька типів теплообмінників. Трубчасті пучкові теплообмінники є найпоширенішими і є одним з найефективніших засобів теплообміну.

**Кожухотрубний теплообмінник** - це пристрій, в якому дві робочі рідини обмінюються тепловим контактом за допомогою трубок, розміщених в циліндричній оболонці. Температура рідин всередині кожуха і всередині трубок різна, і саме ця різниця температур є рушійною силою теплообміну. Кожухотрубчасті теплообмінники, що використовуються в широкому діапазоні температур і тисків, компактні, прості в будівництві та обслуговуванні і забезпечують відмінну теплопередачу.

Залежно від типу теплообмінника, його конструкція може відрізнятися, але основними елементами конструкції:

- Кожух
- Трубна решітка
- Розподільна та спрямовуюча камера
- Перегородки
- Ущільнення
- Патрубки (відведення та підведення рідини)

Розглянемо більш детально кожний елемент конструкції теплообмінника:

### 1. Кожух

Зовнішній кожух теплообмінника - це тепла сорочка.

Використовується для захисту внутрішніх компонентів від навколишнього середовища і зазвичай виготовляється з металу, такого як вуглецева або нержавіюча сталь. Для мінімізації тепловтрат або запобігання перегріву оболонка також може бути ізольована за необхідності.

### 2. Трубна решітка

Трубчаста решітка є внутрішньою частиною теплообмінника і складається з ряду трубок, які розміщені всередині корпусу теплообмінника, в шахматному порядку шаг повинен бути 1,25 – 1,5 від зовнішнього діаметра труб.

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

13

Залежно від застосування, трубки можуть бути прямими або вигнутими. Зазвичай вони виготовляються з сталі марки 10 та 20 або титану та алюмінію, якщо середовище досить агресивне. Трубки призначені для передачі тепла між двома середовищами і мають високу теплопровідність.

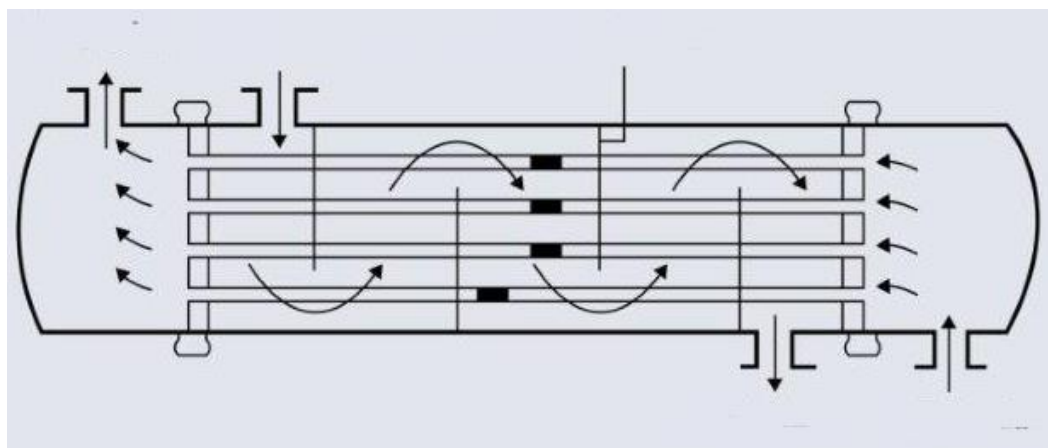
### 3. Розподільна камера

У середині теплообмінника, між корпусом теплообмінника і трубним екраном, можуть бути встановлені камера розподільна. Вони використовуються для рівномірного розподілу теплоносія всередині корпусу. Під час виготовлення апарату, перегородки відливають разом з корпусом, або приварюють до нього. Це забезпечує оптимальну ефективність теплопередачі. Залежно від технологічних вимог, розподільні камери можуть бути різних форм і конструкцій. Кількість перегородок вирішує скільки буде ходів, це значення коливається в межах 2-6 ходів.

### 4. Патрубки

З'єднання, що використовуються для подачі і відведення теплоносія з теплообмінника, за допомогою трубопроводу і насосів. Вони дозволяють теплоносію циркулювати і контролюють потік та температуру.

### Принцип роботи чотирьохходового кожухотрубного теплообмінника



*Рисунок 1.2 – Типова схема руху рідини в кожухотрубчастих теплообмінниках*

На рисунку 1.2 показана типова схема кожухотрубного теплообмінника.

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

14



Фундаментальна суть кожухотрубчастих теплообмінників полягає в тому, щоб пропускати гарячу рідину або пару через трубки з холодною рідиною без їх змішування, так щоб відбувався процес теплопередачі. На схемі вище показано два входи і два виходи, причому кожна рідина/пара входить в пристрій через відповідний вхід і виходить з пристрою через відповідний вихід. Потік з боку трубки проходить через трубний пучок (який закріплений за кришку та є нерухомим) і виходить з патрубку. Аналогічно, потік з боку кожуха починається на вході в розподільну кришку, проходить через трубки і виходить на виході з кожуха до патрубку. Розподільна кришка по обидва боки трубного пучка створюють резервуари для потоку рідини з боку трубок. Вони можуть бути розділені на секції в залежності від типу теплообмінника.

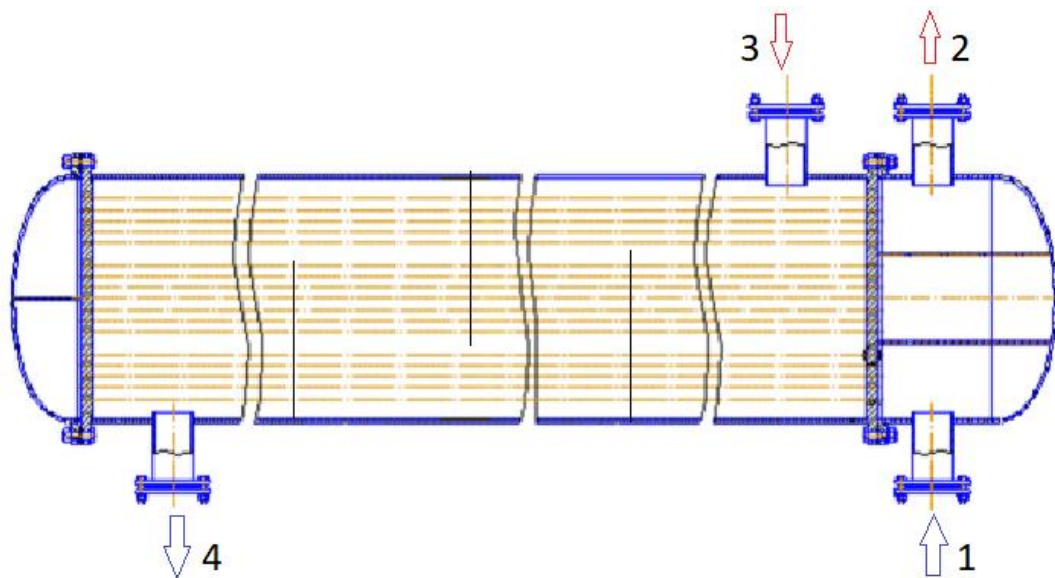
Кожна трубка містить вставку, відому як турбулізатор, яка створює турбулентний потік повз трубки, запобігаючи відкладенню осаду або "засміченню" і збільшуючи теплопередачу теплообмінника. Щоб максимізувати кількість теплового перемішування, яке відбувається між рідиною в оболонці і трубками з теплоносієм, конструктори також створюють турбулентність в оболонці за допомогою бар'єрів, відомих як перегородки. Рідина з боку кожуха повинна обійти ці перегородки, змушуючи потік неодноразово проходити через пучок трубок, передаючи теплову енергію і виходячи з теплообмінника при більш низькій температурі.

Деякі кожухотрубчасті теплообмінники використовують різні форми перегородок для максимізації теплопередачі, а деякі взагалі не використовують перегородки та мають нижчий коефіцієнт корисної дії.

Перегородки підтримують трубки таким чином, що пошкодження і вібрація трубок зводяться до мінімуму.

Кожухотрубчасті теплообмінники можуть бути однофазними або двофазними. Однофазний теплообмінник підтримує постійну фазу рідини протягом усього процесу, тоді як двофазний теплообмінник викликає зміну фази під час процесу теплопередачі (наприклад, пара входить, а рідка вода виходить). Вони також можуть бути одноходовими або багатоходовими, що просто описує, скільки разів потоки з боку трубок/оболонки проходять через пристрій. На рисунку 1.2 показана багатопрхідна двофазна конфігурація, де потік пари з боку кожуха проходить над трубами охолоджувача кілька разів, та конденсується, перш ніж вийти через вихідний патрубок.

Якби на рисунку 1.2 не було перегородок, то теплообмінник вважався б одноходовим пристроєм, оскільки і потік з боку труб, і потік з боку кожуха проходять один через одного лише один раз.



*Рисунок 1.3 – Схема руху потоків в кожухотрубному конденсаторі*

Принципова схема руху охолоджуючої рідини та парів етанолу, відповідно до завдання до проектування кожухотрубного конденсатора, який працює під робочим тиском в 0,2 Мпа, та теплообміна здатність парів етанолу досягає 8000 кг/год.

Охолодуюча технічна вода поступає до розподільної кришки, через патрубок (1) надходить до трубного простору, де контактує з парами етанолу, які подаються через вхідний штуцер (2) у верхній частині корпусу. Пари етанолу розподіляються по міжтрубному простору де починають конденсуватися на поверхні труб, в які поступає технічна вода. Перегородки необхідні для рівномірного охолодження парів і утримання трубного пучка для того, щоб не відбувалась деформація при розтягті та стисненні, та мають проміжок між трубами 0,3 мм. Це дозволяє конденсату не затримуватися у трубному просторі, та без перешкоджень зтікає через ніжній штуцер(4)

Технічна вода проходить через всіх ходи трубки, підчас непрямого контакту з парою нагрівається, та надходить до верхнього штуцера(2).

Гаряча технічна вода може використовуватися в будь яких подальших потребах підприємства

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

**XI.T.00.00.00 ПЗ**

Лист

16

В кожухотрубному теплообміннику існує 4 види розміщення трубок в корпусі апарата. [18]

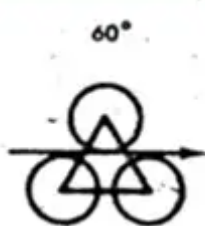


Рис 1.4  
Трикутна

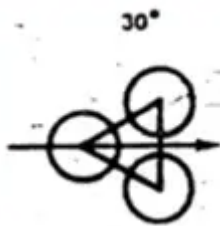


Рис 1.5  
Повернутий  
трикутник

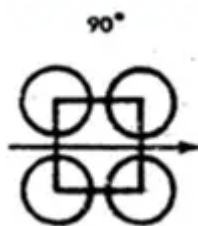


Рис 1.6  
Квадратна

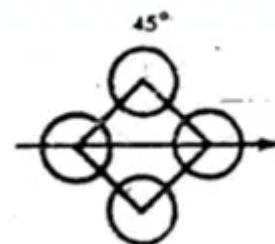


Рис 1.7  
Повернутий  
квадрат

Розміщення трубок повинно розташовано з мінімальною відстанню від зовнішнього діаметра іншої трубки в 1,25 -1,5 рази

### Порівняння конструкції кожухотрубного теплообмінник з аналогами

Кожухотрубні теплообмінники мають дуже великий потенціал, та застосування її у промисловості в порівнянні з іншими досягає до 70% в усьому ринку. Але останні 10 років можливо побачити, що апарати повітряного охолодження та пластинчасті теплообмінники почали дуже сильно витісняти їх, бо мають конкретні переваги. Надалі буде порівняння теплообмінників, та виявлення їх переваг та недоліків, з аналізу джерел [18-19]

#### 1. Кожухотрубні теплообмінники:

Відомий своєю універсальністю і довговічністю, поширеним типом теплообмінника є кожухотрубний теплообмінник. Ця конструкція складається з циліндричної оболонки, що оточує пучок трубок. Рідина протікає через трубки, в той час як інша рідина або пара циркулює навколо них в оболонці. Кожухотрубчасті теплообмінники можуть витримувати широкий діапазон робочих умов. Вони використовуються в різних галузях промисловості, включаючи нафтогазову, хімічну та енергетичну.

Кожухотрубні теплообмінники мають кілька переваг. Вони забезпечують велику площу теплообміну завдяки розташуванню трубних пучків. Це забезпечує ефективний теплообмін між рідинами. Крім того, міцна конструкція робить їх придатними для застосування в умовах високого тиску і високих температур, що робить їх ідеальними для складних промислових процесів.

Крім того, процедури технічного обслуговування, очищення та огляду спрощуються завдяки доступу до трубок всередині корпусу. Кожухотрубні теплообмінники також пропонують гнучкість в розташуванні труб і матеріалах, що дозволяє адаптувати їх до різних типів рідин і технологічних вимог.

Кожухотрубні теплообмінники мають певні недоліки. Витрати на виробництво і монтаж цих теплообмінників можуть бути відносно вищими, ніж у інших типів, особливо для великих потужностей. Крім того, через наявність труб збільшується ймовірність забруднення, яке з часом може знизити ефективність теплопередачі. Хоча забруднення можна зменшити шляхом регулярного очищення, воно є важливим фактором для довготривалої роботи кожухотрубних теплообмінників. Крім того, відносно великі розміри і вимоги до простору кожухотрубних теплообмінників можуть бути проблемою в установках з обмеженим простором на підприємстві.

## **2. Пластинчастий теплообмінник:**

Відомі своєю компактною конструкцією і високою швидкістю теплопередачі. Ці теплообмінники складаються з серії гофрованих пластин, які створюють канали для проходження рідини, що забезпечує ефективну передачу тепла. Вони широко використовуються в таких галузях, як опалення, вентиляція та кондиціонування повітря, холодильна та харчова промисловість.

Переваги пластинчастих теплообмінників. Вони ідеально підходять для установок з обмеженим простором, оскільки їх компактна конструкція значно зменшує необхідну площу в порівнянні з кожухотрубними теплообмінниками. Гофровані пластини сприяють турбулентному потоку, що підвищує ефективність теплообміну між рідинами. Крім того, знімні пластини забезпечують легкий доступ для огляду, очищення та обслуговування.

Головні недоліки цих теплообмінників, Як зазначають, вони можуть бути обмежені у своїй здатності працювати в екстремальних умовах, особливо при високих тисках і температурах. Це може призвести до деформації пластин або виходу з ладу прокладок. Крім того, вузькі канали між пластинами роблять пластинчасті теплообмінники більш сприйнятливими до забруднення. Потребують регулярного очищення і технічного обслуговування для забезпечення оптимальної продуктивності.

### **3. Ребристі трубчасті теплообмінники:**

Ребристі трубчасті теплообмінники широко використовуються в системах кондиціонування, охолодження та рекуперації тепла. Ці теплообмінники складаються з труб з ребрами, прикріпленими до їх зовнішніх поверхонь. Ці ребра значно збільшують площу теплопередачі і сприяють ефективному теплообміну.

Їх конструкція має значні переваги, як стверджує провідний виробник ребристих трубчастих теплообмінників. Ребристі трубчасті теплообмінники відмінно підходять для теплообміну типу "повітря-рідина", оскільки ребра збільшують площу поверхні, що призводить до підвищення ефективності теплообміну між рідиною і навколишнім повітрям. Завдяки своїй компактності вони також підходять для установок з обмеженим простором.

Обмеження ребристих трубчастих теплообмінників. Хоча вони чудово передають тепло від повітря до рідини, вони можуть бути менш універсальними, коли мова йде про застосування, що включає два потоки рідини. Крім того, наявність ребер може збільшити ймовірність забруднення. Щоб запобігти зниженню ефективності теплопередачі, необхідно регулярне очищення і технічне обслуговування.

Таким чином, кожухотрубчасті теплообмінники підходять для широкого спектру промислових застосувань завдяки своїй високій ефективності теплопередачі, універсальності та довговічності. Однак важливо враховувати пов'язані з ними витрати, можливість забруднення і вимоги до місця. Пластинчасті теплообмінники відрізняються компактністю і ефективністю, але можуть бути обмежені в екстремальних умовах експлуатації.

## **Переваги та недоліки розроблювального конденсатора**

### **1. Кожухотрубчасті теплообмінники з нерухомою трубною решіткою:**

Теплообмінники з нерухомими трубками мають значні переваги, згідно з книгою з теплопередачі [19]. Їх конструкція максимізує ефективність теплообміну між двома рідинами, забезпечуючи велику площу поверхні теплообміну. Вони універсальні, що дозволяє використовувати різні компонування труб і матеріали для задоволення конкретних технологічних вимог. Вони можуть витримувати високий тиск і температуру, що робить їх придатними для складних промислових застосувань. Теплообмінники з нерухомими трубами також довговічні.

Забруднення є потенційною проблемою для цих теплообмінників через наявність пучків труб, що може призвести до зниження ефективності теплопередачі з часом, згідно з дослідженням, проведеним експертами з теплообмінників. Щоб зменшити забруднення і підтримувати оптимальну продуктивність, необхідне регулярне технічне обслуговування і очищення. Крім того, фіксоване розташування труб обмежує теплове розширення труб, що може призвести до механічних навантажень і потенційного виходу з ладу за певних умов експлуатації.

У наш час розвивається виробництво компактних теплообмінників з рельєфними поверхнями та інтенсивним рухом рідин. В результаті їх технічні характеристики наближаються до характеристик пластинчастих теплообмінників. Однак виробництво пластинчастих теплообмінників також розвивається. Заміна кожухотрубних теплообмінників на пластинчасті є доцільною через наступні переваги: Коефіцієнт теплопередачі гофрованого пластинчастого профілю в 3-4 рази вищий, легкість розбирання і ремонту, компактність завдяки малій відстані між пластинами.

Недоліком є швидке забруднення пластин через малі зазори між ними. Теплообмінник буде працювати довго, якщо теплоносій добре відфільтрований. Також турбулентність рідин запобігає відкладенню дрібних частинок на полірованих пластинах

### **Вибір конструктивних матеріалів розроблювального апарату**

Вибір матеріалів для виготовлення базувався на джерелах[19-20]

Конструкція теплообмінника значною мірою залежить від властивостей обраного матеріалу, які в основному визначаються його корозійною стійкістю і теплопровідністю. У хімічній промисловості використовують теплообмінники з різних металів (вуглецевих і легованих сталей, алюмінію, титану, тощо), а також неметалевих матеріалів, таких як (графіт та тефлон)

Наприклад, при низьких і високих температурах механічні властивості матеріалів, з яких виготовлено обладнання, суттєво змінюються. Механічні властивості матеріалу, такі як межа міцності на розрив, відносне подовження, твердість тощо, також повинні бути враховані.

На підставі, виходячи з необхідних вимог до вибору матеріалів, було вибрано наступні[20-21]:

- Корпус, фланці, розподільні камери виготовлені зі сталі:  
09Г2С ДСТУ 8541:2015;
- Теплообмінні труби, штуцери, болти, гайки, ребра жорсткості, кронштейни, шпилькі виготовлені зі сталі:  
Сталь 20 ДСТУ 7809:2015;
- Прокладки виготовлені з:  
Пароніт ГОСТ 481-70

**Характеристика сталі 09Г2С:**

Марка: 09Г2С - низьколегована сталь для зварних конструкцій. Широко використовується у виробництві труб та іншого металопрокату і користується великою популярністю в галузі металоконструкцій.

Вид поставки	
Сортовий і фасований	ДСТУ 8541:2015, ГОСТ 2590-2006, ГОСТ 2591-2006, ДСТУ 4484:2005, ГОСТ 8240-97.
Лист товстий	ГОСТ 82-57 ДСТУ 8804:2018 ГОСТ 5521-93 ДСТУ 8540:2015
Лист тонкий та смуги	ГОСТ 17066-71 ГОСТ 19904-74 ГОСТ 103-2006 ГОСТ 82-57

Хімічний склад 09Г2С, у % до										
Fe	Cu	C	Si	P	S	Cr	N	Mn	As	Ni
~96	0,3	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8	0,035	0,04	0,3	0,008	1,3 - 1,7	0,08	0,3

Механічні властивості 09Г2С, t 20°C					
ГОСТ	Стан поставки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	$\sigma_B$ (МПа)	$\delta_5$ (МПа)
ДСТУ 8541:2015	Сортовий і фасонний прокат	365 315	345	490	21
ДСТУ 8804:2018	Листи та смуги	от 10 до 20 вкл. от 20 до 32 вкл. от 32 до 60 вкл. от 60 до 80 вкл. от 80 до 160 вкл.	325 305 285 275 265	470 460 450 440 430	21 21 21 21 21
17066-71	Листи після гарту, відпускні	от 10 до 32 вкл. от 32 до 60 вкл.	365 315	490 450	19 21
17066-80	Листи гарячекатані	2-3,9	-	490	17

Опис сталі 09Г2С: Завдяки високій міцності і можливості використання більш тонких елементів, прокат з цієї сталі застосовується в конструкційному машинобудуванні.

Вона підходить для різних галузей промисловості, в тому числі хімічної, нафтової, суднобудівної, оскільки її властивості стабільні в широкому діапазоні температур і вона легко зварюється. Вона також широко використовується для зварних конструкцій. Зварювання цієї сталі легке і не впливає на її властивості. Після загартування і відпуску вона не схильна до крихкості і зберігає свою в'язкість. Для зварювання можна використовувати різні електроди. Після зварювання рекомендується термічна обробка для підвищення твердості шва і усунення напружень.

Властивості сталі 09Г2С: Сталь має підвищену межу втоми і збільшену кількість циклів до руйнування в діапазоні малоциклової втоми після двофазної структурної обробки. Міцність підвищується за рахунок мартенситних ділянок в структурі.

Американські аналоги: А 516-55, А 516-60, А 516-65, А 561, Gr70

										<b>ХІ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							22



### Характеристика Сталі 20:

Вид поставки	
Сортовий і фасований	ДСТУ 7809:2015 ГОСТ 2590-2006 ГОСТ 2879-2006 ДСТУ 2251:2018 ДСТУ 8769:2018
Труби	ДСТУ 8943:2019 ГОСТ 10705-63 ДСТУ 8938:2019
Поковки та ковані заготовки	ГОСТ 8479-57
Лист тонкий та стрічка	ГОСТ 16523-97 ГОСТ 6009-57 ГОСТ 10234-62 ГОСТ 103-2006 ГОСТ 82-57

Механічні властивості 09Г2С, t 20°C					
ГОСТ	Стан поставки	$\sigma_B$ (МПа)	$\delta_5$ (%)	$\psi$ (%)	НВ(не більше)
ДСТУ 7809:2015	Сталь калібрована: гарячекатана, кована та сріблянка 2-ї категорії після нормалізації	410	25	55	
	5-ї категорії після нагартування	490	7	40	
	5-ї категорії після відпалу або високого відпуску	390	21	50	
10702-78	Сталь калібрована і калібрована зі спеціальним обробленням: після відпуску або відпалу після сфероїдизуючого відпалу	390-490	7	50	163
		340-440		50	163
		490.		40	207
17066-71	Смуги нормалізовані або гарячекатані	410	25	55	
17066-80	Лист термооброблений 1-2й категорії	340-490	28	490	127

Хімічний склад Сталь 20, у % до										
Fe	Cu	C	Si	P	S	Cr	N	Mn	As	Ni
~98	0,25	0,17 - 0,24	0,17 - 0,24	0,04	0,04	0,25	0,008	0,35 - 0,65	0,08	0,25

Широко використовується в будівництві котлів і різноманітних трубопроводів, сталь 20 є універсальним матеріалом. Її також використовують у виробництві різноманітного прокату. До них відносяться прутки і листи. Особливістю цієї марки сталі є можливість виготовляти деталі з високою поверхневою твердістю і низькою міцністю серцевини. З неї в автомобільній і сільськогосподарській промисловості виготовляють кулачкові валики, осі, кріпильні елементи та інші деталі.

Щоб виготовити поковки зі сталі 20, необхідно враховувати її властивості. Категорія міцності поковок може бути 175, 195, 215 або 245, залежно від товщини. Для отримання більш міцних поковок може знадобитися використання інших марок сталі. Поковки виготовляються з блюмів, кованих заготовок або сталевих виливків з лінії безперервного лиття.

Прямокутні труби зі сталі 20 виготовляються електрозварюванням з листового або рулонного прокату. Діаметр, товщина стінки, довжина і клас точності вказані в маркуванні таких труб. Існує широкий діапазон діаметрів, товщини стінок, довжин і класів точності для вибору найкращих труб для різних застосувань і вимог.

Американські аналоги: 1020, 1023, 1024, G10200, G10230, H10200

### **Характеристика Пароніт ГОСТ 481-70**

Пароніт ГОСТ 481-70 - унікальний матеріал. Він має відмінні властивості та механічні характеристики. У різних галузях промисловості, таких як машинобудування, хімічна промисловість та енергетика, він є незамінним компонентом. Неперевершена довговічність і стійкість до екстремальних умов - головні особливості Пароніту ГОСТ 481-70. Цей матеріал ідеально підходить для використання у високотемпературних процесах завдяки унікальній здатності витримувати температуру до 250°C. Завдяки своїй хімічній стійкості.

Пароніт ГОСТ 481-70 не піддається впливу масел, розчинників, кислот і лугів. Це гарантує його довговічність і надійність в найскладніших умовах.

Головною перевагою Пароніту ГОСТ 481-70 є його висока герметичність. Цей матеріал перешкоджає проникненню рідин і газів через

шви і забезпечує надійне і герметичне з'єднання. Така герметичність робить його незамінним в обладнанні, де потрібен надійний захист від протікання.

Пароніт ГОСТ 481-70 має високу механічну міцність і стійкість до механічних навантажень, стиснення, розтягування і вигину. Це гарантує його довговічність і надійність в експлуатації. Він також ідеально підходить для використання в електричних системах і обладнанні завдяки своїм чудовим електроізоляційним властивостям. Легко обробляється, що дає можливість створювати найрізноманітніші форми і розміри ущільнювальних виробів і деталей. Тривалий термін служби і мінімальні витрати на обслуговування забезпечуються його міцністю і зносостійкістю.

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

Починаючи з визначення основних властивостей теплоносіїв, таких як густина, теплопровідність, динамічна в'язкість, теплоємність проводиться технологічний розрахунок. Початкова і кінцева температури кожного теплоносія і характер взаємодії між ними визначають середню силу, що рухає процес. З основного рівняння теплопередачі розраховується площа, що використовується для теплообміну. З рівняння об'ємного потоку в міжтрубному просторі розраховується кількість трубок в процесі. За відповідними формулами [6] визначаються фактичні швидкості холодного теплоносія в трубах і гарячого теплоносія в міжтрубному просторі.

Методика виконання технологічного розрахунку теплообмінника представлена в. В результаті цього розрахунку визначається необхідна площа поверхні для теплообміну.

Значення чисел Рейнольдса визначають режим течії в трубах і міжтрубному просторі. Використовуються також інші критерії подібності. До них відносяться критерій Прандтля і критерій Нуссельта.

Вихідні дані для технологічного розрахунку апарату, такі як кількість та технологічні параметри вхідного та вихідного потоків, що проходять через теплообмінник (згідно з рис. 2), наведені в завданні на кваліфікаційну роботу.

Конденсація етанолу при тиску 0,2 МПа становить 88 °С градусів. Отже, теплове навантаження розрахункового конденсатора буде таким же:

Наведемо нижче формулу для розрахунку теплового навантаження на конденсатор:

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ХІ.Т.00.00.00 ПЗ				

$$Q = Q_{\text{конд}} = G_n r_x, \quad (1)$$

де  $G_n$  – масова витрата етанолу, кг/с;

$r_x$  – питома теплота конденсації етанолу при  $p_k = 0,2$  МПа, кДж/кг [11].

$$Q = \left( \frac{8000}{3600} \right) \cdot 840 = 1867 \text{ кВт}$$

Розрахунок середньої різниці температури теплоносіїв:

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{2,3 \lg \left( \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m} \right)}, \quad (1)$$

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{68 - 13}{2,3 \lg \left( \frac{68}{13} \right)} = 33,3^\circ\text{C}$$

де  $\Delta t_6$  і  $\Delta t_m$  – більша і менша різниці температур,  $^\circ\text{C}$  та розраховується за формулами нижче:

$$\Delta t_m = 88 - 75 = 13^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_6 = 88 - 20 = 68^\circ\text{C}$$

Відповідно за рекомендаціями літератури [22] необхідна температура кінцевого теплоносія повинна бути нижче від гарячого в діапазоні 5-15  $^\circ\text{C}$ . Приймаємо середню величину  $\Delta t_m - 13^\circ\text{C}$

Визначемо витрату охолоджуючої води з рівняння теплового балансу:

$$G_B = \frac{Q}{c_B \cdot (t_{\text{KB}} - t_{\text{HB}})}, \quad (2)$$

$$G_B = \frac{1867}{4,2 \cdot (75 - 20)} = 8,1 \text{ кг/с}$$

де  $c_B$  – це теплоємність води при усередненій температурі носія = 4,2 кДж/(кг·К) [13].

Тоді як необхідна поверня теплообміну складатиме:

$$F_B = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{\text{сер}}}, \quad (3)$$

$$F_B = \frac{1867}{600 \cdot 33,3} = 93,4 \text{ м}^2$$

де  $K_{op}$  – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі приймаємо в діапазоні 300 – 800 Вт/(м<sup>2</sup>·К) [22].

Швидкість води у трубах розраховується за формулою:

$$w_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot S_{тр}}, \quad (4)$$

$$w_B = \frac{8,1}{992 \cdot 0,011} = 0,74 \text{ м/с}$$

де  $\rho_B$  – щільність води при усередненій температурі, кг/м<sup>3</sup> [13].

Критерій Рейнольдса для теплоносія у трубах:

$$Re_B = \frac{w_B \cdot (d - 2s) \cdot \rho_B}{\mu_B}, \quad (5)$$

$$Re_B = \frac{0,74 \cdot (25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3} \cdot 992}{0,6 \cdot 10^{-3}} = 24471$$

де  $d$  та  $s$  – діаметр і товщина стінки труб, м;

$\mu_B$  – динамічний коефіцієнт в'язкості води при усередненій  $t$ , Па·с

Критерій Прандтля для теплоносія у трубах визначається за формулою:

$$Pr_B = \frac{C_B \cdot \mu_B}{\gamma_B}, \quad (6)$$

$$Pr_B = \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3}}{0,65} = 3,88$$

де  $\gamma_B$  – коефіцієнт теплопровідності води при усередненій температурі, Вт/(м·К) [13]

Використаємо критеріальне рівняння Нуссельта, бо критерій Рейнольдса

$Re > 10000$  – використовується для турбулентного режиму [23]:

$$Nu_B = 0,021 \cdot \varepsilon_1 Re_B^{0,8} \cdot Pr_B^{0,43} \left( \frac{\mu_2}{\mu_{ст2}} \right)^{0,25}, \quad (7)$$

$$Nu_B = 0,021 \cdot 1 \cdot 24470^{0,8} \cdot 3,8^{0,43} \cdot 1 = 122$$

де  $\varepsilon_1$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив на коефіцієнт тепловіддачі відношення довжини труби до його діаметру  $= 1 ; (\mu_2/\mu_{ст2}) \cdot 0,25 = 1$

Отже, тепер можемо розрахувати коефіцієнт тепловіддачі від стінки холодного носія [23]:

$$\beta_y = \frac{Nu_B \cdot \gamma_B}{d - 2s}, \quad (8)$$

$$\beta_y = \frac{122 \cdot 0.65}{(25 - 2 \cdot 2.5) \cdot 10^{-3}} = 3965 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт тепловіддачі від потоку етанолу, що конденсується у міжтрубному просторі теплообмінника [23]:

$$\beta_x = 0.728 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_t \cdot \sqrt[4]{\frac{\gamma_x^3 \cdot \rho_x^2 \cdot r_x' g}{\mu_x \Delta t d}}, \quad (9)$$

$$\beta_x = 0.728 \cdot 0.85 \cdot 1 \cdot \sqrt[4]{\frac{0.16^3 \cdot 740^2 \cdot 840 \cdot 9.81}{45,9 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}} = 829 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт, що залежить від розташування труб в пучку та розрахункового числа труб;

$\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $\rho_x$  – густина конденсату,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ;

$\varepsilon_t$  – поправний коефіцієнт, що враховує залежність фізичних властивостей конденсату,

$\lambda_x$  – коефіцієнт теплопровідності;

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

$\mu_x$  – динамічний коефіцієнт в'язкості конденсату,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ;  $\Delta t$  – різниця температур конденсату

Розрахунок коефіцієнту теплопередачі від потоку етанолу, через розділяючу стінку потоку технічної води:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta_x} + \frac{s}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\beta_y}}, \quad (10)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{829} + \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{46.5} + \frac{1}{3965}} = 661 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

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

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

## 2.2 Конструктивні розрахунки

В розрахунках цього розділу будуть наведення з визначенням різних конструктивних елементів апарата, такі як:

- Діаметр кожуха
- Конструкція теплообмінних труб та кількість
- Кількість ходів для носія
- Визначення площі теплообмінну, та перерізу одного ходу в трубах
- Діаметри штуцерів

Розрахунок діаметрів штуцерів для входу та виходу парів етанолу, та технічної води:

$$d = \sqrt{\frac{4G}{\pi \rho w}}, \quad (11)$$

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

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

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

Розрахуємо штуцер для входу технічної води:

$$d_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,1}{3,14 \cdot 998 \cdot 2}} = 0,072 \text{ м}$$

Розрахуємо штуцер для виходу технічної води:

$$d_{\text{вих}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,1}{3,14 \cdot 978 \cdot 2}} = 0,073 \text{ м}$$

Розрахуємо штуцер для входу парі етанолу:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 8000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 10}} = 0,285 \text{ м}$$

Розрахуємо штуцер для виходу конденсату етанолу:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 8000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 738 \cdot 1,5}} = 0,05 \text{ м}$$

Виходячи з цих даних приймаємо наступні параметри для штуцерів:

- Вхід води технічної  $D_y=80$  мм ( $p_y=0,2$  МПа);
- Вихід води технічної  $D_y=80$  мм ( $p_y=0,2$  МПа).
- Вхід парів етанолу  $D_y=300$  мм ( $p_y=0,2$  МПа);
- Вихід конденсату етанолу  $D_y=50$  мм ( $p_y=0,2$  МПа);

Необхідна (фактична) поверхня теплообміну становить:

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

$$F_{\phi} = \frac{1867 \cdot 10^3}{661 \cdot 33,3} = 84,8 \text{ м}^2$$

**Вибираємо стандартизований кожухотрубний теплообмінник:**

- діаметр кожуха  $D = 800$  мм;
- теплообмінні труби  $\text{Ø}25 \times 2,5$  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  $s_{\text{тр}}=0,011 \text{ м}^2$

Коефіцієнт запасу поверхні теплообміну буде становити:

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

$$\chi = \left(1 - \frac{84,8}{95}\right) \cdot 100\% = 10,74\%$$

Запас поверхні знаходиться в межах допустимих значень 10–15 %.



## 2.3 Гідрравлічний опір апарата

Методика, щодо виконання розрахунків гідроопіру теплообмінника була аналізована з джерела [23]

Розрахунок гідроопіру теплообмінника:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{м}} = \left( \lambda \frac{L}{d - 2s} + \sum \vartheta_{\text{м}} \right) \cdot \frac{w_{\text{в}}^2 \rho_{\text{в}}}{2}, \quad (14)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт гідрравлічного тертя;

$\vartheta_{\text{м}}$  – коефіцієнт місцевого опору.

Для ізотермічного турбулентного потоку в шорстких трубах:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d - 2s} + \frac{68}{Re_{\text{в}}} \right)^{0,25}, \quad (15)$$

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{0,1}{(25 - 2 \cdot 2,5) \cdot 10^{-3}} + \frac{68}{24470} \right)^{0,25} = 0,165$$

де  $\Delta$  – абсолютна шорсткість поверхні труби

$\Delta=0,06-0,1$  мм, для сталевих труб, що були в експлуатації, з корозією

$\Delta=0,1-0,2$  мм), мм.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в апараті:

$$\sum \vartheta_{\text{м}} = 2 \vartheta_1 + 2 \vartheta_2 + \vartheta_3 (z - 1), \quad (16)$$

$$\sum \vartheta_{\text{м}} = 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 1 + 2,5 \cdot (4 - 1) = 12,5$$

де  $\vartheta$  – коефіцієнти місцевих опорів (вхідна і вихідна камери  $\vartheta_1=1,5$ , вхід в труби і вихід з них

$\vartheta_2=1$ , поворот на  $180^\circ$  між ходами  $\vartheta_3=2,5$ ).

Виходячи з даних:

$$\Delta P = \left( 0,165 \frac{3,0}{25 - 2 \cdot 2,5} \cdot 10^{-3} + 12,5 \right) \cdot \frac{0,74^2 \cdot 990}{2} = 10,1 \text{ кПа}$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахуємо теплове навантаження холодильного апарату, який необхідний для охолодження етанолу до 25°C, під час процесу теплообміну одна частина надходить до холодильника, а флегма конденсата повертається до колони.

У розрахунках приймаємо, що 2/3 дистилляту повертається в ректифікаційну колону.  $8000 \cdot 1/3 = 2667 \text{ кг/год}$

$$Q_x = G_x \cdot c_x \cdot (t_1 - t_2), \quad (17)$$

$$Q_x = \frac{2667}{3600} \cdot 2,46 \cdot (88 - 25) = 115 \text{ кВт}$$

де  $c_x$  – питома теплоємність етанолу,  $c_x = 2,46 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$

Розрахункова поверхня теплопередачі холодильника:

$$F_p = \frac{Q_x}{K \cdot \Delta t}, \quad (18)$$

$$F_p = \frac{115 \cdot 10^3}{60 \cdot (88 - 7)} = 23,7 \text{ м}^2$$

де  $K$  – значення коефіцієнта теплопередачі холодильників,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

### Вибираємо стандартизований холодильник:

- внутрішній діаметр кожуха  $D = 400 \text{ мм}$
- поверхня теплообміну  $F = 31,0 \text{ м}^2$
- довжина труб  $L = 4000 \text{ мм}$
- число ходів по трубах 2
- сортамент труб  $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

## Розрахунок збірника рідкого етанолу E<sub>2</sub>

Ємність роозрахована з урахуванням коефіцієнта заповнення  $\psi = 0,82$ . Використовується для зберігання етанолу.

Визначимо розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{\text{ЄР}} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (19)$$

$$V_{\text{ЄР}} = \frac{2667 \cdot 7}{0,82 \cdot 780} = 29,2 \text{ м}^3$$

де  $G$  – загальна витрата конденсата,  $G = 2667$  кг/год;

$\tau$  – резерв робочого часу,  $\tau = 7$  год.;

$\rho$  – густина етанолу при температурі 25°C,  $\rho = 780$  кг/м<sup>3</sup>

Розрахунок висоти ємності, при діаметрі  $D = 2,8$  м

$$H = \frac{V_{\text{ЄР}}}{0,785 \cdot 2,8^2}, \quad (20)$$

$$H = \frac{29,2}{0,785 \cdot 2,8^2} = 4,75 \text{ м.}$$

## 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

### 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Усі розрахунки були виконані за методикою [24]

Коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$ , напруга для сталі 09Г2С:  $\sigma^* = 172,5$  МПа при  $t = 88$  °С

Тиск у міжтрубному просторі який етанол створює :  $p_p = 0,2$  Мпа

Визначення допустимого напруження для листового матеріалу:

Під час гідровипробувань:

$$[\sigma]_{\text{и}} = \frac{\sigma_{\text{T20}}}{1,1}, \quad (21)$$

$$[\sigma]_{\text{-и}} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ Мпа}$$

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

33

На краю сполучених елементів:

$$[\sigma] = n \cdot \sigma^* = 1,0 \cdot 172,5 = 172,5 \text{ Мпа}, \quad (22)$$

Допустима напруга сталі 09Г2С при температурі  $t=20^\circ\text{C}$ :

$$[\sigma]_{20} = 170 \text{ Мпа}$$

Пробний тиск при випробуваннях і при допустимій нарузі:

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

$$p_{\text{и}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,25 \cdot 0,2 \cdot \frac{170}{172,5} = 0,25 \\ 0,2 + 0,3 = 0,5 \end{array} \right\} = 0,5 \text{ Мпа}$$

До розрахункової товщини прибавляємо надбавку на корозію на термін використання апарата протягом 10 років:  $c = 2 \text{ мм}$

Розрахунок товщини стінки кожуха при гідровипробуванні та допустимій нарузі:

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_p \cdot D}{(2 \cdot \varphi[\sigma] - p_p)} \\ \frac{p_{\text{и}} \cdot D}{(2 \cdot \varphi[\sigma]_{\text{и}} - p_{\text{и}})} \end{array} \right\}$$

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,2 \cdot 800}{(2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,2)} = 0,52 \\ \frac{0,5 \cdot 800}{(2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,5)} = 0,87 \end{array} \right\} = 0,87 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха з урахуванням корозії

$c = 2 \text{ мм}$ :

$$S = 0,87 + 2 = 2,87 \text{ мм}, \quad (25)$$

Приймаємо стандартизовану товщину стінки:

$$S = 4 \text{ мм}$$

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

Розрахункова товщина стінок еліптичного днища:

$$S_p^E = \max \left\{ \frac{p_p \cdot D}{(2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p_p)}, \frac{p_{и} \cdot D}{(2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{и} - 0,5 \cdot p_{и})} \right\}$$

$$s_p = \max \left\{ \frac{0,2 \cdot 800}{(2 \cdot 0,9 \cdot 172,5 - 0,5 \cdot 0,2)} = 0,52 \right. \\ \left. \frac{0,5 \cdot 800}{(2 \cdot 0,9 \cdot 254,5 - 0,5 \cdot 0,5)} = 0,87 \right\} = 0,87 \text{ мм}$$

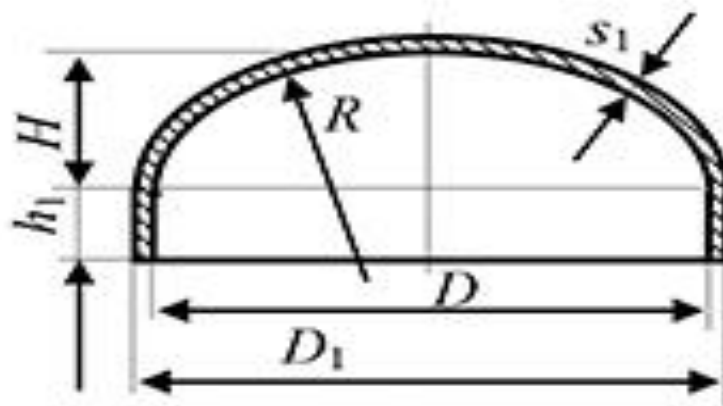


Рисунок 1.8 – Розрахункова схема днища

Приймаємо виконавчу товщину стінки днища з урахуванням корозії  $c = 2$  мм та  $S_E = 4$  мм

$$s \geq S_p + C$$

$$S = 0,87 + 2 = 2,87 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартизовану товщину стінки днища:

$$S = 4 \text{ мм}$$

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

35

### 3.2 Розрахунок опори апарата

Усі розрахунки були виконані за методикою [24]



Рисунок 1.9 – Сідлова опора апарата

Розрахунок маси обичайки:

$$m_k = \left[ \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{\text{ц}})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (27)$$

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

де  $\rho$  сталі = 7890 кг/м<sup>3</sup>

Розрахунок маси кришки та еліптичного днища:

$$m_{\text{едн}} = m_{\text{екр}} = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho, \quad (28)$$

$$m_{\text{едн}} = m_{\text{екр}} = 1,24 \cdot 0,8^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 25 \text{ кг}$$

Розрахунок маси труб:

$$m_{\text{тр}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{н}}^2 - d_{\text{вн}}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho, \quad (29)$$

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

Розрахунок об'єму в міжтрубному просторі:

$$V_{\text{мтр}} = f_{\text{мтр}} \cdot H, \quad (30)$$

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

Розрахунок маси фланця з решіткою:

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

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

де  $D_{\phi}$  - зовнішній діаметр фланця,  $h_{\phi}$  – висота фланця

Розрахунок маси етанолу в апараті:

$$m_x = V_{\text{мтр}} \cdot \rho \cdot \varphi, \quad (32)$$

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

де  $\varphi$  – коефіцієнт заповнення етанолу

Розрахунок сили тяжіння апарату на 2 опори:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{едн}} + m_{\text{екр}} + m_{\text{мтр}} + m_{\phi} + m_x), \quad (33)$$

$$G = g \cdot (239 + 25 + 25 + 1689 + 498 + 332) = 27546 \text{ Н}$$

Розрахунок навантаження на одну опору:

$$Q = \frac{G}{n}, \quad (34)$$

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

Приймаємо стандартизовану сідлову опору за такими параметрами:

- Допустиме навантаження: 160 кН
- Радіус: 432 мм
- Тип виконання: 2

## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж розробленого апарата

#### Підготовка теплообмінників до монтаж

Для забезпечення надійної роботи, ефективності та довговічності, успішна експлуатація теплообмінників та їх монтаж відіграють ключову роль. Зниження ефективності теплопередачі, збільшення споживання енергії, пошкодження обладнання та скорочення терміну служби можуть бути наслідком помилок при монтажі або неналежного технічного обслуговування.

Метою є дослідження різних методів і процедур, пов'язаних з установкою і експлуатацією теплообмінників, їх роботи і вивчення методів і процедур, пов'язаних з установкою теплообмінників, включаючи вибір оптимального місця розташування, підготовку майданчика до установки, а також установку і підключення обладнання та строповку використовуючи джерело [25].

Під час транспортування до підприємства теплообмінник обов'язково повинен бути захищеним від навколишнього середовища, та надійно закріпленим у контейнері вантажівки, поїзда або корабля.

Після транспортування до точки вивантаження персонал обов'язково повинен оглянути теплообмінний апарат на зовнішні дефекти і перевірити паспорт виробу та збіг серійного номеру. Після цих дій можлива вивантаження теплообмінника на майданчик зберігання у складському приміщенні для подальшого зберігання.

Важливо зазначити, що умови зберігання повинні відповідати нормативному акту НПАОП 0.00-1.69-13. «Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок» [26]

Якщо теплообмінник не був встановлений відразу після отримання на майданчику, то потрібно провести деякі запобіжні заходи, щоб уникнути погіршенню якості під час зберігання в приміщенні:

- Після отримання необхідно обов'язково перевірити на наявність пошкоджень під час транспортування.
- Перевірити на наявність забруднень, як ззовні так і в середині.
- Перевірити на забруднення та пошкодження трубки, та на наявність рідинни в них.

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

38



- Видалити будь які скупчення бруду, води, льоду або снігу та витерти насухо ззовнішні поверхні, перед тим як занести теплообмінник до приміщення для заберігання.
- Зберігати теплообмінник під накриттям з регульованим кліматом ( 15-25°C), з низькою вологістю, щоб запобігти корозію.
- Герметично закрити плівкою, або в боксі, щоб запобігти потрапляння пилу, плісняви та вологи
- Після консервування теплообмінника слід регулярно оглядати його стан

Для успішного монтажу кожухотрубних теплообмінників необхідно ретельно враховувати кілька факторів, зокрема масу, розміри і точне позиціонування теплообмінника.

Теплообмінник повинен бути розташований на чистому, відкритому майданчику з достатнім зазором у верхній частині теплообмінника, щоб можна було зняти пучок труб. Для блоків з фіксованою трубною решіткою передбачте місце з обох кінців блоку для зняття головок для огляду та очищення трубок. Для блоків з плаваючою задньою панеллю труб передбачте місце на нерухомому кінці головки для зняття пучка труб і місце на головному кінці для зняття пучка труб, а також достатній простір на плаваючому кінці головки для зняття кришки кожуха та/або кришки плаваючої головки.

Фундамент теплообмінника повинен бути достатнім, щоб запобігти осіданню агрегату і викликати напруження в трубопроводах. викликати напруження в трубопроводах. Фундаментні болти повинні бути встановлені з урахуванням неточностей осідання. У бетонних фундаментах для цього найкраще підходять трубні гільзи, щонайменше на один розмір більші за діаметр болта, які надягають на болт і заливають на місце. Це дозволяє відрегулювати центр болта після того, як фундамент застигне.

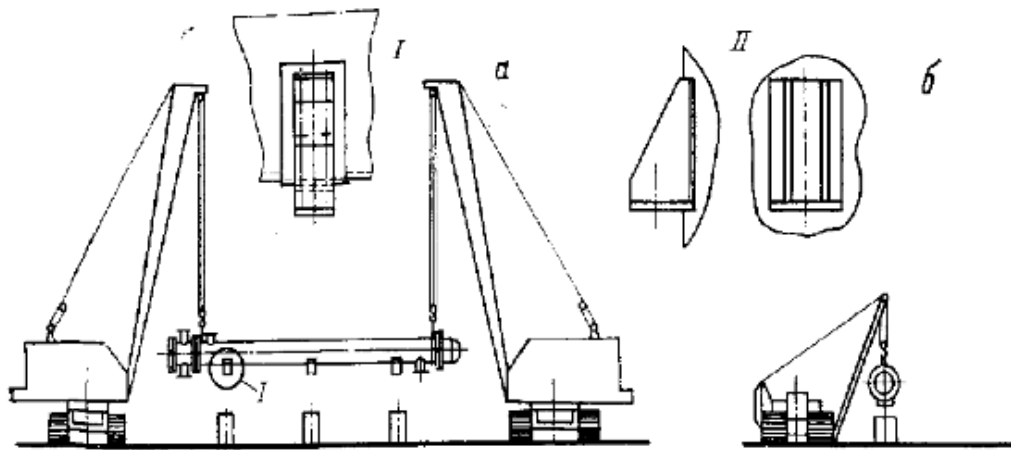
Для забезпечення вільного розширення і стиснення корпусу теплообмінника, фундаментні болти повинні бути ослаблені з одного кінця блоку. корпусу теплообмінника. Для цього передбачені щілинні отвори. Теплообмінники повинні бути розміщені рівно і під прямим кутом, щоб з'єднання труб можна було виконати без зусиль.

Сучасні кожухотрубчасті теплообмінники спроектовані таким чином, щоб їх було зручно доставляти з заводу-виробника на місце установки в повністю зібраному стані для забезпечення безперешкодного транспортування.

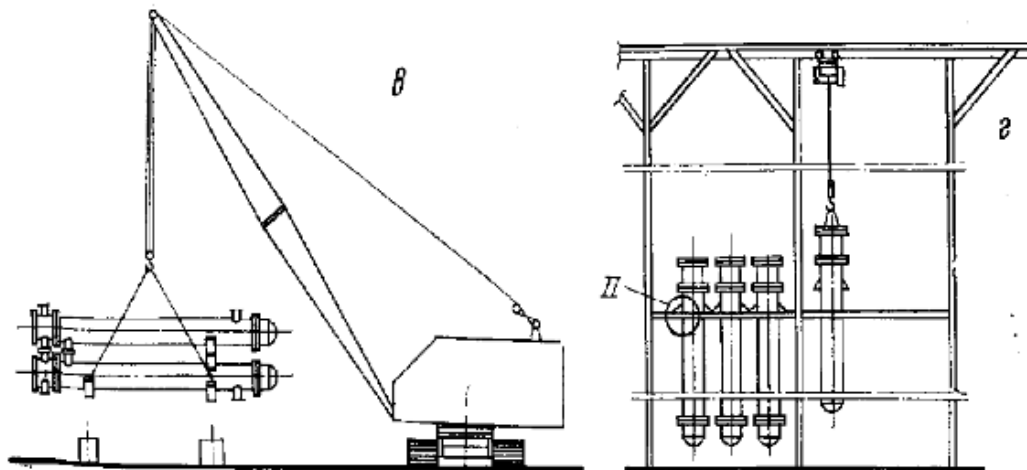
У процесі транспортування використовуються різні транспортні засоби. Це і причепа, і вантажівки, і спеціалізовані транспортні засоби.

Під час монтажу теплообмінники стратегічно розміщуються горизонтально на різній висоті. Це залежить від конкретних вимог проекту. Опорною конструкцією для цих установок можуть бути бетонні або залізобетонні колони з анкерними болтами для низького горизонтального розміщення.

На рис. 1.10(а) та 1.10(б) показано різноманітні інноваційні методи монтажу теплообмінників:



а) Використання двох синхронізованих кранів б) використання сучасної трубоукладальної машини



с) підйом блоку з'єднаних між собою теплообмінників одним краном  
г) підйом вертикальних теплообмінників за допомогою спеціальної монобалки

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

40

У більшості випадків самохідні крани є першим вибором для процесу монтажу. Вони дозволяють безперешкодно розміщувати теплообмінники у визначених місцях площадки. Скоординовані зусилля з використанням двох кранів застосовуються в ситуаціях, коли вантажопідйомність одного крана є недостатньою. Суворе дотримання точних розмірів фітінгів на корпусі та колекторі під час виробничого процесу має вирішальне значення для послідовного і стандартизованого з'єднання трубопроводів ідентичних теплообмінників. Ці з'єднані між собою теплообмінники ретельно закріплені в міцній решітчастій коробці. Це дозволяє безпечно та ефективно транспортувати їх.

Наступним кроком є закріплення болтів, які з'єднують опори або ніжки з п'єдесталом, після того, як положення корпусу було ретельно перевірено. На цьому важливому етапі забезпечується стабільність і надійність теплообмінника. Для забезпечення точного вирівнювання використовується рівень або схил. За необхідності, для точного вирівнювання опорних площин стратегічно розміщуються сталеві смуги. Горизонтальні установки вимагають додаткової уваги через температурні деформації, які можуть спричинити розширення або стиснення оболонки на кілька міліметрів. Нерухома опора, яка часто розташована поруч з нерухомими трубними решітками, щільно закріплена, в той час як гайки рухомої опори, навмисно залишаються трохи ослабленими, щоб забезпечити простір для розширення. Для збереження бажаного положення ці гайки потім закріплюються за допомогою контргайок. Щоб зменшити ризик небажаного тертя або перешкод.

Всі зібрані теплообмінники проходять суворі випробування під тиском, щоб забезпечити їх цілісність і функціональність на заводі-виробника перед установкою.

Отже, коли теплообмінники прибувають на місце установки, основна увага приділяється комплексній перевірці всієї системи теплообмінника, включаючи ретельно з'єднані трубопроводи. Однак, якщо протокол заводських випробувань відсутній, або якщо пристрій зберігався або встановлювався протягом тривалого періоду часу, виконується ретельна перевірка і, за необхідності, ремонт, щоб забезпечити оптимальну продуктивність і безпеку під час експлуатації.

Для забезпечення надійності та якості обладнання заводського виготовлення під час монтажу проводиться ряд комплексних перевірок і випробувань:

1. Ретельний зовнішній огляд компонентів теплообмінника проводиться для виявлення будь-яких відхилень від заданих геометричних розмірів і виявлення корозії в окремих частинах.
2. Зварні шви проходять ретельний зовнішній огляд для виявлення потенційних проблем, таких як погане проплавлення, кратери і зовнішня пористість. Будь-яке зміщення країв елементів, що з'єднуються, за межі допустимих розмірів, встановлених нормами Ростехнагляду, ретельно контролюється.
3. Перед монтажем на об'єкті запірна та регулююча арматура проходить ретельний огляд для перевірки її цілісності та працездатності.
4. Лабораторні випробування контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації проводяться для забезпечення їх належного функціонування і точності.

Процес встановлення та монтажу зазвичай відбувається у визначеній послідовності операцій, як описано нижче:

1. Корпус приладу надійно встановлюється на фундамент.
2. Сервісні платформи та драбини ретельно встановлюються, щоб забезпечити безпечний доступ для технічного обслуговування та огляду.
3. Всі трубопроводи майстерно змонтовані та з'єднані між собою для забезпечення ефективного теплообміну.
4. Арматура та контрольно-вимірювальні прилади встановлені ретельно, забезпечуючи належну інтеграцію в систему.

5. З'єднання апаратів, включаючи кришки, люки, фланці та сальникові ущільнення, ретельно ущільнені, щоб запобігти будь-яким потенційним витокам.
6. Для підвищення безпеки та запобігання несанкціонованому доступу встановлюються захисні решітки.
7. Проводяться суворі випробування для оцінки герметичності та надійності апарату. Після успішного проходження випробувань апарат передається інспектору Ростехнагляду для перевірки.
8. Проводиться дослідна експлуатація для оцінки працездатності та функціональності апарата в умовах експлуатації.
9. Проводяться теплоізоляційні роботи для забезпечення ефективної теплопередачі та мінімізації тепловтрат.
10. Нарешті, проводяться пусконаладжувальні роботи, щоб розпочати експлуатацію обладнання.

Для забезпечення ретельного документування та контролю якості протягом усього процесу монтажу тепломеханічного обладнання на енергоблоках ведуться такі технічні записи: журнали монтажних робіт, акти приймання-передачі обладнання, отриманого під час монтажу, та формуляри монтажу обладнання. Ці документи слугують важливими довідковими матеріалами для моніторингу та забезпечення якості і відповідності монтажних робіт.

### **Гідровипробування перед експлуатацією**

У процесі складання апарата або завершення всієї установки необхідно провести ретельні гідравлічні випробування, щоб забезпечити максимальну якість і надійність задіяних компонентів. Ці випробування проводяться окремо для корпусу апарата, системи трубопроводів (якщо вони відокремлені) і повністю зібраного апарата, включаючи все допоміжне обладнання, у визначеному місці експлуатації.

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

- Для посудин, що працюють під робочим тиском до 0,5 МПа, випробувальний тиск встановлюється в півтора рази вище робочого, але не нижче 0,2 МПа.
- Посудини з робочим тиском понад 0,5 МПа проходять випробування тиском, що в 1,25 рази перевищує робочий тиск, з дотриманням мінімального порогу робочого тиску плюс 0,3 МПа.
- Для посудин, що працюють під вакуумом, застосовується випробувальний тиск 0,2 МПа.

Під час гідравлічного випробування обережно подається заданий випробувальний тиск, який підтримується протягом 5 хвилин. Протягом цього часу ретельний моніторинг гарантує, що показання манометра залишаються стабільно стабільними. Після закінчення 5-хвилинного періоду за допомогою спеціально розробленого триходового клапана тиск в установці поступово знижується до робочого. Потім робочий тиск ретельно підтримується протягом всієї фази технічного приймання, яка триває мінімум 2 години. Одночасно проводиться ретельний зовнішній огляд, щоб виявити будь-які потенційні відхилення від очікуваних стандартів міцності або герметичності. Під час цього огляду обладнання перевіряється на наявність ознак здуття, розривів, тріщин у швах або біля отворів, а також будь-яких витоків або потіння у зварних швах і різьбових з'єднаннях.

Для подальшої оцінки цілісності зварних швів їх ретельно обстежують, простукуючи молотком. Крім того, для корпусів, що містять трубчасті системи або стаціонарно закріплені труби, ретельно перевіряється герметичність з'єднань між трубами і трубчастими панелями.

У випадках, коли виявляється недостатня герметичність або слабкі місця, вони позначаються крейдою або кольоровою краскою.

Щоб полегшити виявлення витоків у зварних швах, суміш крейди та води обережно наносять на зварні шви, щоб утворилося видиме покриття. Потім покриття висушується перед випробуванням. Таке покриття виявляється безцінним під час гідравлічних випробувань, оскільки будь-який витік води проявляється у вигляді чітких мокрих плям на крейдяному покритті, що дозволяє легко виявити дефекти. Пошкоджені ділянки вирізаються на всю глибину. Аналогічно, трубки майстерно вальцюються, зварюються, герметизуються або замінюються на нові, якщо вони мають будь-які ознаки негерметичності в місцях кріплення, такі як протікання, тріщини або запітніння.

Для того, щоб результати гідравлічних випробувань вважалися задовільними, необхідно, щоб падіння тиску на манометрі не перевищувало 5% від початкового тестового тиску протягом безперервного періоду в 2 години. Результати гідравлічних випробувань ретельно фіксуються.

## 4.2 Ремонт апарата

Теплообмінники є ключовими компонентами в багатьох промислових процесах, забезпечуючи ефективний теплообмін між двома середовищами. Вони широко застосовуються в різних галузях, включно з енергетикою, нафтогазовою промисловістю, хімічною та харчовою промисловістю, а також у системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Однак з плином часу теплообмінники схильні до зносу і корозії, що знижує їхню ефективність і може призвести до збоїв у роботі всієї системи.

У цьому розділі будуть розглянуті такі питання, як: основні пошкодження теплообмінників, причини пошкоджень, ремонт пошкоджень, обслуговування та інше згідно аналізу літератури[27].

Основні хімічні та фізичні процеси а також теплові, які спричиняють пошкоджуваність теплообмінників:

### Хімічні процеси:

- Корозія від води та окисників, агресивними газами та іншими розчинами
- Ударна корозія
- Корозія викликана різними мікроорганізмами
- Корозійне розстріткування від напруги

### Фізичні процеси:

- Ерозія теплоносієм з механічно зваженими частинками всередині труби
- Ерозія внаслідок удару крапель у міжтрубному просторі
- Ерозія внаслідок впливу потоків рідини з відносно високою швидкістю та високою температурою
- Знос трубок в середині прольотів або в зоні вигинів при їх зіткненні, а також в зоні проходження через отвори в проміжних перегородках через вібрацію трубок в потоці теплоносія.

### **Теплові процеси:**

- Перегрів металу труб вище допустимої температури
- теплове розширення труб теплообмінника, що призводить до виникнення додаткових напружень в матеріалі.

Всі ці процеси можуть спричинити пошкодження або руйнування апарату, також пошкодження можуть посилюватися помилками при виготовленні апарату, монтажу та експлуатації. Пошкодження також можуть виникнути під час потрапляння сторонніх предметів до трубного пучку або камери, таких як металева стружка або частина паронітової прокладки, через що може виникнути в трубах напруження.

Основі проблеми які виникають в подальшому пошкодженні конденсаторів, а згодом і відмовою апарату є:

- Старіння металу трубок під час тривалої експлуатації
- Розриви трубок через наявність у них технологічних дефектів
- Утворення тріщин на трубках
- Неякісне вальцювання трубок на заводі
- Несвоєчасна заміна та очищення конденсаторних трубок
- Ерозійний знос трубок
- Розрив камери конденсатора

### **Економічний фактор для проведення ремонтних робіт**

В процесі експлуатації обладнання збільшується кількість вузлів, ресурс яких вже вичерпано. Тому з кожним ремонтом зростає вартість ремонтних робіт. Вартість нового обладнання з часом знижується завдяки вдосконаленню технології виробництва, підвищенню продуктивності праці та іншим факторам.

Удосконалюючи технологічний процес ремонту, підвищуючи продуктивність праці, впроваджуючи в практику ремонту досягнення науково-технічного прогресу, можна значно знизити вартість ремонту обладнання. Виробники повинні постійно вдосконалювати конструкцію і технічні характеристики теплообмінників з метою підвищення конкурентоспроможності своєї продукції. Зменшення зносу можливе як за рахунок підвищення коефіцієнта використання обладнання, так і за рахунок модернізації, яка проводиться під час ремонту.

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

XI.T.00.00.00 ПЗ

Лист

46



Кількість рентабельних ремонтів збільшується, особливо якщо під час ремонту проводиться модернізація обладнання з підвищенням показників ефективності та надійності, а оскільки підвищення цих показників збільшує термін служби обладнання, то результатом буде зниження витрат на експлуатацію та ремонт обладнання в цілому.

### Ремонтні роботи теплообмінних апаратів

Для подальшого ремонту, апарат потрібно підготувати та зробити наступні типові роботи для забезпечення безпеки та ефективності ремонту:

Нижче наведені кроки, виконуються перед ремонтними роботами:

1. Скидання тиску: Переконайтеся, що теплообмінник безпечно скинуто до атмосферного тиску. Це досягається шляхом скидання тиску і зливання продукту.
2. Зняття кришок та водяних камер: Для початку розбірки необхідно відкрити кришки теплообмінного апарата та виконати демонтаж водяних камер. Цей крок забезпечує доступ до внутрішніх компонентів теплообмінника.
3. Від'єднати клапани та встановити заглушки: Забезпечується повна ізоляція клапанів, що подають і відводять технологічні середовища. На всіх вхідних і вихідних трубах встановлюються спеціальні заглушки для запобігання витоків середовища.
4. Видалення трубної системи: У випадку вертикальних підігрівачів, систем з подачі та відведення води, а також маслоохолоджувачів, необхідно витягти трубну систему. Це включає відкручування з'єднувальних елементів, встановлення фіксаторів, а потім видалення самої трубної системи з корпусу.
5. Продування азотом або паром: Теплообмінник продувається азотом або паром для видалення залишків продукту і домішок. Після цього виконується промивка водою і продувка повітрям для очищення системи.
6. Аналіз на наявність небезпечних продуктів: Зразки аналізуються на наявність токсичних або вибухонебезпечних речовин. Цей етап допомагає забезпечити безпеку під час ремонтних робіт і визначити необхідні захисні заходи.

7. Планування вогневих робіт: Якщо вогневі роботи є необхідною частиною ремонтного процесу, розробляється план і отримується дозвіл на їх проведення. Забезпечення дотримання техніки безпеки під час таких робіт.
8. Підготовка акту приймання виконаних ремонтних робіт: Перед початком ремонтних робіт складається звіт, в якому фіксується технічний стан теплообмінника, будь-які пошкодження і несправності, а також описуються вжиті передремонтні заходи. Це важливий документ, який фіксує відправну точку ремонту.

Під час діагностики усуваються незначні несправності, які можуть вплинути на працездатність обладнання. Якщо діагностика не виявила несправностей, які потребують усунення, ремонтуються тільки ті несправності, які спричиняють або можуть спричинити зниження ефективності та надійності роботи агрегату під час експлуатації. В такому випадку теплообмінник не відправляється в ремонт, а готується до введення в експлуатацію.

Існують різні методи для очищення теплообмінників, такі як:

1. Хімічна очистка: застосовується для очищення накипа
2. Механічна очистка: застосовується для видалення накипу, механічного засору та біологічних частинок
3. Установка високого тиску: застосовується для видалення накипу, механічного засору та біологічних частинок
4. Гідравлічний пістолет: застосовується для видалення механічного засору та біологічних частинок
5. Рідино-повітряна очистка: застосовується для видалення механічного засору та біологічних частинок
6. Термічна та вакуумна сушка: застосовується для видалення біологічних частинок

Одним з найбільш ефективних і універсальних методів очищення обладнання є хімічний метод, який використовує кислоти для розчинення і видалення відкладень. Хімічне очищення здійснюється без розкриття теплообмінника. В даний час для очищення теплообмінного обладнання широко використовується промивка різними мінеральними кислотами, в першу чергу соляною і сірчаною.

Однак швидкість, з якою ці кислоти та їх розчини розчиняють відкладення, ускладнює процес промивання і викликає підвищену корозію як кольорових сплавів, так і матеріалів теплообмінників. Дослідження показують, що використання цих кислот призводить до прискореного розчинення металу під шаром відкладень в 2-3 рази швидше, ніж без відкладень. Особливо небезпечним є явище, відоме як "хлоридна активація" поверхні металу, що призводить до розтріскування металу в умовах експлуатації.

Для хімічного очищення в останні роки успішно застосовується сульфатна кислота. Це ефективний реагент і менш небезпечний з точки зору корозії, ніж мінеральні кислоти. Однак висока вартість сульфатної кислоти є обмеженням для її широкого використання.

Механічне очищення труб є одним з найбільш трудомістких методів. Зазвичай його застосовують лише під час капітального ремонту труб, якщо кислотне промивання є недостатньо ефективним. Механічному очищенню піддаються тільки теплообмінники з прямими трубами, такі як конденсатори і теплообмінні апарати. Очищення здійснюється за допомогою щетинних щіток, прикріплених до довгих плунжерів, які приводяться в дію вручну.

## Ремонтні роботи кожуха апарата



*Рисунок 1.11 – Пошкоджений кожух теплообмінника*

Огляд для визначення ступеня пошкодження - це перший крок у ремонті кожуха. Можна виявити тріщини, корозію, деформацію або інші видимі пошкодження. Перед початком ремонтних робіт необхідно підготувати поверхню кожуха. Всі забруднення, такі як іржа, бруд і стара фарба, повинні бути видалені. Для цього використовуються щітки, абразиви та розчинники або спеціальні хімічні сполуки для видалення корозії.

Після того, як поверхня очищена, оглядають і видаляють пошкоджені ділянки корпусу. Це можуть бути тріщини або деформації, які необхідно видалити та замінити. Для видалення пошкоджених ділянок можуть використовуватися такі інструменти, як різак, зварювальні апарати та зварювальне обладнання, які можна застосовувати разом з процесом очищення поверхні. Щоб гарантувати герметичність і довговічність кожуха, важливо забезпечити якісне і надійне з'єднання.

Після ремонту кожуха необхідно провести випробування на герметичність. Це може включати перевірку випробування під тиском або інші методи, щоб переконатися, що кожух повністю герметичний і не буде небажаного потрапляння охолоджувальної рідини в кожух.

Рекомендується нанести захисне покриття для запобігання корозії та подальшого пошкодження кожуха.

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

**XI.T.00.00.00 ПЗ**

Лист

50

Покриття може бути виконано спеціальними фарбами або захисними матеріалами.

### Ремонтні роботи трубок апарата (очищення та заміна)



*Рисунок 1.12 – Профілактика очистки трубок*

Профілактика очищення теплообмінника перш за все необхідний для того, щоб очистити трубки теплообмінника від накипу, який утворився через відкладання солей та інших мінералів, під час використання технічної води.

З економічної точки зору, цей процес очищення буде більш дешевим ніж позбавлення солей у воді, так як об'єм води дуже великий. Саме тому рекомендується своєчасно проводити дані профілактичні роботи, щоб за великий проміжок часу не утворився багаторічний накип, очищення якого потребує більшого часу та вартість якого збільшується в рази.

Профілактичні роботи, якщо накипу мало, виконуються за рахунок гідравлічного очищення, даний вид робіт є дешевим та ефективним, так як вода подається під великим тиском. Це дозволяє розбити закупорки накипу, та прочистити ходи трубок. Тиск подається в діапазоні 1,0-1,2 Мпа

Щоб підвищити КПД робіт гідравлічним способом, можливе додавання абразивних сумішей ( пісок, зола ).

Якщо накип багаторічний, та не піддається очищенню, то використовують тиск в діапазоні 29-39 Мпа. Соплова голівка гідравлічного пістолета може вращатися, не пошкоджуючи поверхню самих трубок, рідина з накипью витікає через відкриті люки.

## Хімічне очищення трубок:



*Рисунок 1.13 – Накип та інші відкладення на трубках*

Вибір правильних кислот відіграє важливу роль у підтримці та збереженні стану труб при хімічному очищенні труб в кожухотрубних теплообмінниках. Різні кислоти можуть по-різному впливати на матеріали труб і їх стан. Кислоти зазвичай використовуються для очищення труб. До них відносяться соляна кислота ( $\text{HCl}$ ) і сірчана кислота ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Вони добре розчиняються і ефективно видаляють такі відкладення, як накип та іржа. Однак концентрацію і час контакту з розчином слід ретельно контролювати, оскільки їхня агресивність може спричинити корозію металевих поверхонь.

Деякі кислоти не рекомендуються для очищення трубок в кожухотрубних теплообмінниках, наприклад, азотна кислота ( $\text{HNO}_3$ ). Вони мають високу корозійну активність і, особливо для більш чутливих матеріалів, таких як мідь або алюміній. Слід також враховувати тип матеріалу, з якого вони виготовлені, оскільки різні матеріали можуть мати різну стійкість до кислот. Наприклад, нержавіюча сталь буде більш стійкою до корозії, тоді як мідні або алюмінієві трубки потребують більш м'яких розчинів.

Етапи очищення хімічним способом:

1. Розчин подається в кожухотрубний теплообмінник. Насоси або розпилувачі використовуються для рівномірного розподілу розчину по всій системі.

Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

**XI.T.00.00.00 ПЗ**

Лист

52

2. Розчин протягом певного часу контактує з відкладеннями. Хімічні речовини вступають в реакцію з відкладеннями, руйнуючи їх структуру і полегшуючи їх видалення.
3. Після впливу розчину систему ретельно промивають. Для видалення залишків розчину і забруднень труби промивають чистою водою або нейтралізуючим розчином.
4. Після очищення виконується контроль якості для підтвердження ефективності процесу. Візуальний огляд, вимірювання пропускної здатності НКТ та аналіз зразків промивної води можуть бути використані для перевірки успішності очищення і повернення системи до нормальної роботи.

## 5 Охорона праці

Законодавство України щодо охорони праці представляє собою комплекс взаємопов'язаних нормативно-правових актів, які регулюють відносини у сфері виконання державної політики з правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і медико-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини під час праці.[28] Питання охорони праці регулюються законодавством України, яке складається з ряду важливих нормативно-правових актів. Серед них основну роль відіграє Закон України "Про охорону праці". Цей закон визначає конституційне право громадян на захист життя і здоров'я під час праці, регулює відносини між роботодавцями та працівниками з питань безпеки, гігієни праці та умов праці, а також встановлює порядок організації охорони праці в Україні. Законодавство надає пріоритет життю та здоров'ю працівників над результатами виробничої діяльності підприємств.

Працівникам заборонено пропонувати роботу, яка протипоказана через стан їх здоров'я. Крім того, виконання робіт, пов'язаних з підвищеним ризиком і вимагають професійного відбору, допускаються лише з психофізіологічним висновком.

Умови праці, безпека технологічних процесів, машин, обладнання та інших засобів виробництва, а також стан засобів колективного та індивідуального захисту повинні відповідати вимогам законодавства. Дотримання цих вимог має на меті забезпечити безпечні умови праці та

запобігти травмам, професійним захворюванням та іншим негативним наслідкам для здоров'я працівників.

### **Основні методи пожежогасіння. Вогнегасні речовини та засоби пожежогасіння**

Тип пожежі, характеристики навколишнього середовища та наявність вогнегасних засобів визначають вибір вогнегасної речовини. Важливо правильно оцінити ситуацію. [29]

Основними вогнугасними речовинами є:

- вода;
- негорючі гази;
- водна пара;
- галогеновуглеводні вогнегасні сполуки;
- хімічна та повітряно-механічна піни;
- сухі вогнегасні порошки;

**Вода** знайшла своє застосування в гасінні пожеж різних класів як найбільш поширений і універсальний вогнегасник. Вода є надійним союзником у боротьбі з вогнем завдяки своїй здатності охолоджувати горючі речовини та поглинати тепло.

**Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>)**, з іншого боку, можна використовувати для гасіння пожеж в електронному обладнанні, не залишаючи непотрібних слідів і не пошкоджуючи електронні компоненти. Це особливо важливо в місцях, де електроніка та цінні матеріали потребують особливого поводження.

**Порошкові вогнегасники** пропонують широкий спектр можливостей для боротьби з різними типами пожеж. Вони є надійним засобом гасіння в різних ситуаціях, оскільки ефективні для широкого спектру матеріалів і джерел займання.

**Піна** - незамінний засіб для гасіння пожеж, спричинених горінням рідин. Її здатність утворювати захисний шар на поверхні речовини, що горить, допомагає запобігти поширенню вогню і знижує його інтенсивність. Крім того, в приміщеннях з електронікою та цінними матеріалами галон заслуговує на увагу як ефективний засіб пожежогасіння. Його використання



запобігає пошкодженню та втраті цінних речей і забезпечує ефективне гасіння пожежі.

Найбільш поширеними факторами, що спричиняють пожежі, є необережне поводження з вогнем, що становить понад 57% випадків, порушення правил монтажу та експлуатації електроприладів (20–25%), а також правил монтажу та експлуатації приладів опалення (8–10%). На виробництві головними причинами пожеж є порушення правил монтажу й експлуатації електроустановок (25–30%), необережне поводження з вогнем (25–35%), порушення технологічного процесу виробництва (до 10%) та порушення правил пожежної безпеки при виконанні вогневих робіт (10–12%). Порушення правил монтажу й експлуатації приладів опалення призводять до 4–6% пожеж, а іскри теплового та механічного походження становлять до 2% випадків. Також варто зазначити, що підпали відіграють роль у 2–3% пожеж, а решта випадків належать до інших причин.

#### **Класифікація пожеж:**

клас А - горіння твердих органічних речовин

клас В - горіння рідин або плавляться речовин

клас С - горіння газоподібних речовин

клас D - горіння металів та їх сплавів.

клас Е - горінням електроустановок.

Для запобігання виникненню і поширенню пожеж та ефективної боротьби з ними працівники та інженерно-технічні працівники проходять спеціальні інструктажі та навчання з питань пожежної безпеки за розробленими для цього програмами. [30]

#### **Існує кілька видів навчання з пожежної безпеки:**

- Вступний інструктаж - його проходять усі працівники при прийнятті на роботу. Його проводить призначена особа, відповідальна за пожежну безпеку на підприємстві чи в організації. Під час вступного інструктажу працівників ознайомлюють з основними вимогами законодавства про пожежну безпеку, правилами і нормами пожежної безпеки компанії, найбільш пожежонебезпечними місцями, де заборонено палити або користуватися відкритим вогнем, а також з

практичними діями у разі виникнення пожежі, можливими причинами виникнення пожеж і вибухів та заходами щодо їх запобігання.

- Первинний протипожежний інструктаж - цей інструктаж проводять для новоприйнятих працівників перед початком роботи на певній ділянці, а також при зміні цеху, посади, спеціальності або виробничого процесу. Під час первинного інструктажу працівників ознайомлюють з правилами пожежної безпеки та інструкціями для конкретного робочого місця, показують аварійні виходи, пожежну сигналізацію, вогнегасники та інші засоби пожежогасіння, а також перевіряють їхні практичні навички на випадок виникнення пожежі.
- Повторний протипожежний інструктаж - відповідно до програми первинного інструктажу на робочому місці, встановленої керівництвом компанії, проводиться двічі на рік у цеху. Під час повторного інструктажу повторюються правила та інструкції з пожежної безпеки та наголошується на важливості дотримання цих правил протягом усього робочого періоду.
- Позаплановий протипожежний інструктаж - цей інструктаж проводиться у разі змін у пожежній безпеці технологічного процесу, використання нових легкозаймистих матеріалів, а також у разі виникнення самозаймання, загоряння або пожежі.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		56

## Список літератури

1. Shell-and-tube heat exchanger [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 05.05.2023 [https://en.wikipedia.org/wiki/Shell-and-tube\\_heat\\_exchanger](https://en.wikipedia.org/wiki/Shell-and-tube_heat_exchanger)
2. Shell-and-tube heat exchanger [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 05.05.2023 <https://thermopedia.com/content/1121/>
3. Resource-Efficient Technologies / A. Sahoo, T.K. Radhakrishnan, C. Sankar Rao: Volume 3, Issue 1, March 2017, Pages 124-132
4. Shell and Tube Heat Exchanger usage, Advantages & Disadvantages [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 05.05.2023 <https://www.stollpche.com/shell-and-tube-heat-exchanger/>
5. Modeling and control of a shell-and-tube heat exchanger in real time [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 08.05.2023 <https://www.futuremarketinsights.com/reports/shell-and-tube-heat-exchangers-market>
6. Shell-and-tube heat exchanger [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 08.05.2023 <https://www.britannica.com/technology/shell-and-tube-heat-exchanger>.
7. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Остаго, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с
8. Основные конструкции и тепловой расчет теплообменников. Учебное пособие/ Банних О.П. - 2012. - 42 с
9. Design optimization of shell-and-tube heat exchangers /André L.H. Costa a, Eduardo M. Queiroz b. Applied Thermal Engineering Volume 28, Issues 14–15, October 2008, Pages 1798-1805.
10. Heat Exchanger Design and Optimization [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 15.05.2023 [https://www.researchgate.net/publication/356630032\\_Heat\\_Exchanger\\_Design\\_and\\_Optimization](https://www.researchgate.net/publication/356630032_Heat_Exchanger_Design_and_Optimization)
11. Quick Guide On What Is Floating Head Exchanger [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 15.05.2023 <https://www.linquip.com/blog/what-is-floating-head-exchanger/>
12. Morris, M. MECHANICAL DESIGN OF HEAT EXCHANGERS [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 15.05.2023 <https://thermopedia.com/content/946/>

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум	Подпис	Дата		57

13. Врагов А.П. Теплообменные процессы и оборудование химических и нефтеперерабатывающих производств. Учебное пособие: Издательство СумГУ, Сумы, 2005. - 222 с.
14. All About Shell And Tube Heat Exchangers - What You Need To Know. Christian Cavallo [Электроний ресурс]. - Режим доступа: 15.05.2023 <https://www.thomasnet.com/articles/process-equipment/shell-and-tube-heat-exchangers/>
15. Fundamentals of Industrial Heat Exchangers Selection, Design, Construction, and Operation 1st Edition - September 1, 2023. Hossain Nemati, Mohammad Ardekani, James Mahootchi, Josua Meyer
16. Basics of Shell and Tube Heat Exchangers [Электроний ресурс]. - Режим доступа: 18.05.2023 [https://whatispiping.com/shell-and-tube-heat-exchangers/?utm\\_content=expand\\_article](https://whatispiping.com/shell-and-tube-heat-exchangers/?utm_content=expand_article)
17. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с
18. Heat Exchanger Design Handbook. Kuppan Thulukkanam / 2nd Edition: 1260 pages. 2013
19. PROCESS HEAT TRANSFER PRINCIPLES, APPLICATIONS AND RULE, Robert W. Serth, Second edition 2014
20. 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.
21. Онлайн каталог Державних стандартів України: 2023 [Электроний ресурс]. - Режим доступа: 01.06.2023 <http://online.budstandart.com/ua/catalog/>
22. 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.
23. 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
24. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов втузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с

25. Конспект лекцій по курсу: "Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв". Яхненко С.М., Литвиненко А.В., Є.М. Піддубний. Суми „Видавництво СумДУ”/ 2018. - 164 с
26. Нормативний документ "Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок". Обслуговування теплообмінних апаратів та трубопроводів/ 29 стр. від 02.12.2013 № 892. [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 15.05.2023 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2127-13#Text>
27. Tubular Heat Exchanger: Inspection, Maintenance and Repair / Carl F. Andreone, Stanley Yokell. September 1, 1997 - 512 pages
28. ПРАВОВІ АСПЕКТИ ОХОРОНИ ПРАЦІ. [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 15.05.2023 [https://minjust.gov.ua/m/str\\_5008](https://minjust.gov.ua/m/str_5008)
29. Основні поняття пожежної безпеки. Класифікація пожеж за характером горючої речовини. Заходи та засоби гасіння пожеж. Суми : Сумський державний університет, [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 05.06.2023 <https://dl.kpt.sumdu.edu.ua/mod/book/view.php?id=17939&chapterid=6996>
30. Наказ "Про затвердження Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці" [Електроний ресурс]. - Режим доступу: 05.06.2023 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0095-94#Text>

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59