

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 для розділення суміші бензол –  
толуол. Розробити вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник для  
нагрівання толуолу.

Виконав:  
студент групи ХМ-91/3кі-1  
Карпенко Артем Сергійович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка  
№ 21510021

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК  
з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:  
Михайловський  
Яків Емануїлович

\_\_\_\_\_  
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**

студенту Карпенко Артему Сергійовичу

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші бензол – толуол.  
Розробити вертикальний кожухотрубчастий теплообмінник для нагрівання толуолу.

2 Вихідні дані: Витрата толуолу – 18000 кг/год; початкова температура – 30 °С;  
кінцева температура – 110 °С. Гарячий теплоносій – насичена водяна пара під тиском 3 ат.

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

- |  |          |
|--|----------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u>       | - 1 арк. |
| 2. <u>Складальне креслення апарата</u>       | - 1 арк. |
| 3. <u>Креслення деталей і вузлів апарата</u> | - 3 арк. |

4 Рекомендована література Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е.

Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

лютий 2023

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

# Зміст

## Вступ

<b>1. Технологічна частина</b> .....	6
1.1 Опис технологічної схеми виробництва .....	6
1.2 Теоретичні основи процесу .....	8
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів.....	12
<b>2. Технологічні розрахунки процесу і апарата</b> .....	19
2.1 Технологічні розрахунки .....	19
2.2 Конструктивні розрахунки .....	20
2.3 Гідравлічний опір апарата .....	24
2.4 Вибір допоміжного обладнання .....	26
<b>3. Розрахунок апарата на міцність та герметичність</b> .....	29
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки.....	29
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання .....	31
3.3 Розрахунок опори апарата .....	38
<b>4. Розрахунок апарата на міцність та герметичність</b> .....	40
4.1 Монтаж розробленого апарата .....	40
4.2 Ремонт апарата .....	42
<b>5. Охорона праці</b> .....	46

## Список літератури

### Додаток А:

XI.T.00.00.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Карпенко			Лит.	Лист	Листов
Провер.		Михайловський				4	50
Н. Контр.					<b>ХМ-91/3кі-1</b>		
Утв.							

**Кожухотрубчастий  
теплообмінник**  
Пояснювальна записка







безперервно виводиться кубова рідина – продукт, збагачений важколетучим компонентом, який охолоджується в теплообміннику 10 та направляється в ємність 11.

Таким чином, в ректифікаційній колоні відбувається безперервний невривноважений процес розділення вихідної бінарної суміші на дистилят (з високим вмістом легко летучого компоненту) та кубовий залишок (збагачений важко летучий компонент).

## **1.2 Теоритичні основи процесу**

Теоретичні основи процесу ректифікації включають статику й кінетику процесу, основні закони й закономірності, вплив різних фізико-хімічних факторів на швидкість процесу, аргументацію вибору параметрів процесу, напрямки руху потоків, температурний режим та інші фактори. Нижче наведено детальний опис кожного з цих аспектів.

### **Статика й кінетика процесу:**

Ректифікаційна установка базується на принципах фракційного розділення рідких сумішей за допомогою диференційної кип'ятіння їх компонентів. Процес ректифікації включає два основних процеси - випаровування і конденсацію. Колона розподіляє суміш на фракції з різними температурами кипіння шляхом повторюваних фазових переходів.

Кінетика ректифікаційного процесу залежить від ряду фізико-хімічних факторів, таких як розмір частинок, розчинність, теплопровідність і в'язкість компонентів суміші.

Швидкість процесу ректифікації визначається різницею в температурі і концентрації між фракціями суміші, а також ефективністю контакту між парою та рідиною у ректифікаційній колоні.

### **Основні закони й закономірності:**

**Закон Рауля:** Закон Рауля стверджує, що частковий паровий тиск компоненту в розчині пропорційний його мольній частці в розчині. Це закономірність, що регулює парову фазу у ректифікаційній колоні, де компоненти парують і конденсуються.

**Закон Дальтона:** Закон Дальтона визначає, що паровий тиск суміші рідин, які

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						8
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		







1. невеликі витрати завдяки високій питомій теплоті конденсації,
2. високий коефіцієнт тепловіддачі,
3. легко подавати трубопроводами до теплообмінника;
4. просте і автоматизоване регулювання температури нагріву речовини;
5. рівномірність нагріву матеріалу, тому що конденсація пари відбувається

за постійної температури.

**Існують різні методи нагрівання:**

1. глухою парою,
2. насиченою парою,
3. гострою парою,
4. гарячою водою,
5. топковими газами,
6. високотемпературними теплоносіями,
7. електричним струмом.

**Під час нагрівання насиченою парою** перегріту водяну пару рідко використовують в якості теплового агенту. Щоб із зони конденсації не виводилася неконденсована пара, використовують спеціальні пристрої – конденсатовідвідники. Якщо в парі є повітря, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, то це зменшує коефіцієнт тепловіддачі.

Також у курсовому проекті буде розрахунок :

- Теплового навантаження апарата. Розраховують за формулою:

$$Q = G_x \cdot c_x \cdot (t_{xк} + t_{xp}) \tag{1.4}$$

де  $G_x$ - витрата холодного теплоносія (кг/год),  $c_x$ - питома теплоємність холодного теплоносія (Дж/(кг·К)),  $t_{xк}t_{xp}$  – кінцева та початкова температура холодного теплоносія.

- Середня рушійна сила процесу; - залежить від початкових та кінцевих температур кожного теплоносія, а також від схеми взаємного руху теплоносіїв. Незважаючи на те що теплообмінник за трубним і за міжтрубним просторами є багатоходовим, середня рушійна сила розраховується як для чистої протитечії за рівнянням:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_{нг} - t_{кх}) - (t_{кг} - t_{нх})}{\ln \frac{t_{нг} - t_{кх}}{t_{кг} - t_{нх}}}$$















Для профільного прокату: гарячекатаний швелер згідно з ГОСТ 8240, рівнополочний і нерівнополочний гарячекатаний кутник згідно з ГОСТ 8509 та ГОСТ 8510 відповідно, гарячекатана двотаврова балка згідно з ГОСТ 8239.

Для труб: водогазопровідна труба згідно з ГОСТ 3262, холоднодеформовані і гарячедеформовані безшовні труби згідно з ГОСТ 8734 та ГОСТ 8732 відповідно, безшовні квадратні труби згідно з ГОСТ 8639, безшовні прямокутні труби згідно з ГОСТ 8645, котельні труби згідно з ТУ 14-3-460, електрозварні квадратні труби згідно з ТУ 14-105-566, електрозварні прямокутні труби згідно з ТУ 14-105-566.

Для сіток: тканина згідно з ГОСТ 3826.

Відмінною особливістю цих виробів є їх здатність до зварювання, за винятком хіміко-термічно оброблених деталей.

Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення фланцевих з'єднань апаратів застосовується пароніт (ПОН-1) згідно з ГОСТ 481.

Основні фізико-механічні характеристики пароніту такі:

Щільність ( $\rho$ ) становить 1,6-2,0 кг/см<sup>3</sup>.

Умовна міцність при розриві в поперечному напрямку становить не менше 60 кгс/см<sup>2</sup>.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

#### Вхідні данні:

Витрата толуолу – 18000 кг/ год; початкова температура – 30 °С; кінцева температура – 110 °С. Гарячий теплоносій – насичена водяна пара під тиском 3 ат.

**Температурний режим апарата.** Температурна схема процесу в разі протитечії:

гарячий теплоносій (Водяна пара) 133 → 133;

холодний теплоносій (Толуол) 110 ← 30.

Середню різницю температур обчислюють як середньо-логарифмічну за залежністю:

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\delta}/\Delta t_{\text{м}})} = \frac{103 - 23}{\ln(103/23)} = 53^{\circ}\text{C} \quad (2.1)$$

Середні температури теплоносіїв розраховують за формулами :

$$t_{\text{сер}_x} = \frac{(t_{\text{хп}} + t_{\text{хк}})}{2} = \frac{30 + 110}{2} = 70^{\circ}\text{C} \quad (2.2)$$

$$t_{\text{сер}_r} = 133^{\circ}\text{C}$$

#### Визначення властивостей теплоносіїв.

Розрахунок технологічних параметрів теплообмінника не може бути проведений без визначення основних теплофізичних характеристик теплоносіїв, таких як їх теплоємність, динамічна в'язкість, густина і теплопровідність.

Тоді для водяного конденсату за середньої температури 133 °С визначають:

- густину  $\rho_r = 943 \text{ кг/м}^3$
- динамічну в'язкість  $\mu_r = 0,232 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_r = 0,686 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
- питома теплоємність  $c_r = 4274 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
- критерій Прандля

$$Pr_r = \frac{c_r \cdot \mu_r}{\lambda_r} = \frac{4274 \cdot 0,232 \cdot 10^{-3}}{0,686} = 1,45 \quad (2.3)$$

Значення густини , динамічної в'язкості , теплопровідності і теплоємності для

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

деяких рідин залежно від температури наведені в таблицях [1]:

Тоді для толуолу за середньої температури визначають:

- густину  $\rho_x = 818 \text{ кг/м}^3$
- динамічну в'язкість  $\mu_x = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_x = 0,126 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
- питома теплоємність  $c_x = 1936 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
- критерій Прандля

$$Pr_x = \frac{c_x \cdot \mu_x}{\lambda_x} = \frac{1936 \cdot 0,35 \cdot 10^{-3}}{0,126} = 5,37 \quad (2.4)$$

Для визначення теплофізичних властивостей газів, парів та рідин можна також скористатися номограмами.

### Витрати

Теплове навантаження апарата обчислюють за рівнянням:

$$Q = G_x \cdot c_x \cdot (t_{xk} - t_{xn}) = \frac{18000}{3600} \cdot 1936 \cdot (110 - 30) = 774400 \text{ Вт} \quad (2.5)$$

Дізнаємося витрату гарячого теплоносія:

$$G_r = \frac{Q}{r} = \frac{774400}{2171 \cdot 10^3} = \frac{0,36 \text{ кг}}{\text{с}} \quad (2.6)$$

де  $r$  – питома теплота конденсації для водяної пари ( $r = 2171 \cdot 10^3 \text{ кДж/кг}$ )

За таблицею з довідника обираємо орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі:  $K_{op} = 250 \text{ Вт/м}^2\text{К}$

Тепер можемо визначити орієнтовну площу теплообміну апарата:

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{сер}} = \frac{774400}{250 \cdot 53} \approx 58 \text{ м}^2 \quad (2.7)$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі гарячого теплоносія:

$$\alpha_r = 0,728 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot g}{\mu \cdot \Delta t \cdot d_H}} \quad (2.8)$$

де  $\varepsilon$  – усереднений коефіцієнт для пучка труб  $\varepsilon = 0,6$  ;

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$\Delta t$  – різниця температур між стінкою та теплоносієм  $\Delta t_d = 7^\circ\text{C}$  ;

$d_H = 0,025$  м (зовнішній діаметр труб в апараті) ;

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> (прискорення вільного падіння).

$$\alpha_r = \frac{1,28 \cdot 0,6 \cdot 7330}{(0,25 \cdot 7)^{0,2}} = 8703,7 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

де  $\varepsilon$  – усереднений коефіцієнт для пучка труб  $\varepsilon = 0,6$ ;

$d_H = 0,025$  м (зовнішній діаметр труб в апараті);

$\Delta t$  – різниця температур між стінкою та теплоносієм  $\Delta t_d = 7^\circ\text{C}$ ;

$A_t$  – функція, яка залежить від температури конденсації водяної пари, приймаємо 7330.

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі холодного теплоносія наспотрібно розрахувати швидкість холодного теплоносія в трубах:

$$\omega_x = \frac{G_x}{\rho_x \cdot f_{\text{тр}}} = \frac{5}{818 \cdot 0,011} = 0,56 \text{ м/с} \quad (2.9)$$

Визначаємо критерій Re:

$$Re_x = \frac{\omega_x \cdot d_B \cdot \rho_x}{\mu_x} = \frac{0,56 \cdot 0,021 \cdot 818}{0,35 \cdot 10^{-3}} = 27050 \quad (2.10)$$

Дізнаємося значення критерію Nu :

$$Nu_x = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} = 0,021 \cdot 27050^{0,8} \cdot 5,37^{0,43} = 151 \quad (2.11)$$

Тепер можемо дізнатися значення коефіцієнта тепловіддачі холодного теплоносія:

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \cdot \lambda_x}{d_B} = \frac{151 \cdot 0,126}{0,021} = 906 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.12)$$

Залежність коефіцієнта теплопередачі від окремих коефіцієнтів тепловіддачі при перенесенні тепла через одношарову (без забруднень) стінку виражається рівнянням:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_r} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{1}{\alpha_x}} \quad (2.13)$$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

де  $\delta_{ст}$  – товщина стінки теплообмінних труб,  $\delta_{ст} = 0,002$  м;  $\lambda_{ст}$  – теплопровідність матеріалу теплообмінних труб, для нержавіючої сталі

$$\lambda_{ст} = 17,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_r} \cdot \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{906}} = 750 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Після розрахунку фактичного коефіцієнта теплопередачі знову визначається розрахункова поверхня теплообміну із основного рівняння теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{сер}} = \frac{774400}{750 \cdot 53} \approx 19,4 \text{ м}^2 \quad (2.14)$$

Остаточний вибір апарату.

Згідно з орієнтовної площі за таблицями з довідника обираємо теплообмінник з найближчим більшим значенням [3]:

Обираємо 2 – ходовий теплообмінник, з площею теплообміну

$F = 24 \text{ м}^2$ , діаметром  $D = 400$  мм, кількістю труб  $N = 100$  шт., довжиною труб  $L = 3$  м, та прохідним перерізом одного ходу по трубах  $f_{тр} = 0,017 \text{ м}^2$

Уточниий розрахунок:

Для розрахунку коефіцієнта тепловіддачі холодного теплоносія нам потрібно розрахувати швидкість холодного теплоносія в трубах:

$$\omega_x = \frac{G_x}{\rho_x \cdot f_{тр}} = \frac{5}{818 \cdot 0,017} = \frac{0,35 \text{ м}}{\text{с}} \quad (2.15)$$

Визначаємо критерій  $Re$ :

$$Re_x = \frac{\omega_x \cdot d_v \cdot \rho_x}{\mu_x} = \frac{0,35 \cdot 0,021 \cdot 818}{0,35 \cdot 10^{-3}} = 17178 \quad (2.16)$$

Дізнаємося значення критерію  $Nu$  :

$$Nu_x = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} = 0,021 \cdot 17178^{0,8} \cdot 5,37^{0,43} = 103,9 \quad (2.17)$$

Тепер можемо дізнатися значення коефіцієнта тепловіддачі холодного теплоносія:

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \cdot \lambda_x}{d_B} = \frac{103,9 \cdot 0,126}{0,021} = 623,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} \quad (2.18)$$

Залежність коефіцієнта теплопередачі від окремих коефіцієнтів тепловіддачі при перенесенні тепла через одношарову (без забруднень) стінку виражається рівнянням:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_T} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_x}}$$

де –  $\delta_{\text{ст}}$  товщина стінки теплообмінних труб,  $\delta_{\text{ст}} = 0,002$  м;  $\lambda_{\text{ст}}$  – теплопровідність матеріалу теплообмінних труб, для нержавіючої сталі

$\lambda_{\text{ст}} = 17,5$  Вт/(м·К).

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8704} + \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{623,4}} = 545 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

Після розрахунку фактичного коефіцієнта теплопередачі знову визначається розрахункова поверхня теплообміну із основного рівняння теплопередачі:

$$F_p = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = \frac{774400}{545 \cdot 53} \approx 26,8 \text{ м}^2 \quad (2.19)$$

Обираємо 2 – ходовий теплообмінник, з площею теплообміну

$F = 31 \text{ м}^2$ , діаметром  $D = 400$  мм, кількістю труб  $N = 100$  шт., довжиною труб  $L = 4$  м, та прохідним перерізом одного ходу по трубах  $f_{\text{тр}} = 0,017 \text{ м}^2$

Тепер визначаємо запас поверхні за формулою [3]:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} = \frac{31 - 26,8}{31} = 0,15 \quad (2.20)$$

Запас поверхні вибраного теплообмінника повинен бути у межах  $0,1 \leq \Delta \leq 0,2$ , при цьому можна варіювати тільки довжиною трубчатки апарата.

## Розрахунок діаметра штуцерів

1. Розрахунок штуцерів:

$$d = \sqrt{\frac{G}{0,785 \cdot \omega \cdot \rho}} \quad (2.21)$$

де  $G$  – масова витрата теплоносія, кг/с;  $\rho$  – густина теплоносія, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  – швидкість руху теплоносія, м/с.

Діаметр вхідного штуцера для водяної пари

$$d = \sqrt{\frac{0,36}{0,785 \cdot 15 \cdot 1,49}} = 0,14 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 150 мм.[1] Діаметр вихідного штуцера для конденсату

$$d = \sqrt{\frac{0,36}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 943}} = 0,02 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 40 мм.[1]

Діаметр вхідного штуцера для толуолу:

$$d = \sqrt{\frac{5}{0,785 \cdot 1,5 \cdot 858}} = 0,07 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр штуцера 100 мм.[1]

## 2.3 Гідравлічний опір апарата

Об'ємна витрата толуолу

$$V_m = \frac{G_T}{\rho_T} \quad (2.22)$$

де  $\rho_T$  – щільність толуолу, кг/м<sup>3</sup>.

$$V_m = \frac{5}{852} = 0,006 \text{ м}^3/\text{с}$$

										Лист
										24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						









Приймаємо  $\eta_{\text{пер}}=1$  та  $\eta_{\text{н}}=0,6$  (для відцентрового насосу середньої продуктивності), знаходимо потужність на валу двигуна:

$$N = \frac{2,312}{0,6} \cdot 1 = 3,853 \text{ кВт.} \quad (2.40)$$

За [1] додаток 1.1 табл.1 вибираємо відцентровий насос марки X45/31, у якого оптимальні умови роботи  $Q=1,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $H=25 \text{ м}$ ,  $\eta_{\text{н}}=0,6$ . Електродвигун АО2-52-2 номінальною потужністю  $N_{\text{н}} = 13 \text{ кВт}$ ,  $\eta_{\text{дв}}=0,89$ . Частота обертання валу  $n=48,3 \text{ с}^{-1}$ .

### Вибір Ємності

Ємність для зберігання вхідної рідини розраховують виходячи з 6-8 часового резерву робочого часу, та з урахуванням коефіцієнта заповнення  $\psi = 0,8 \dots 0,85$ .

Приймаємо середнє значення  $\psi = 0,825$ .

Розрахунковий об'єм потрібної ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho} = \frac{18000 \cdot 7}{0,825 \cdot 858} = 178 \text{ м}^3. \quad (2.41)$$

Обираємо ємність вертикального положення для продуктів нафти, хімічних рідин. Місткість таких ємностей може бути від 5 до 10000  $\text{м}^3$ . Так як об'єм завеликий, тому для забезпечення повного робочого часу треба встановити на виробництві 10 ємностей.

При стандартному значенні діаметра ємності  $D=1,8 \text{ м}$ , тоді висота:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2} = \frac{17,8}{0,785 \cdot 1,8} = 6,9 \text{ м.} \quad (2.42)$$

Для розрахунку гідравлічного опору ємності можна скористатися формулою Дарсі-Вейсбаха, яка визначає залежність між гідравлічним опором, дебітом рідини та характеристиками самої ємності. Формула має наступний вигляд:

$$\Delta P = \frac{f \cdot L \cdot \rho \cdot \omega^2}{2 \cdot D} \quad (2.43)$$

де  $f$  - коефіцієнт гідравлічного опору[1]

$L$  - довжина ємності (м)

$\rho$  - густина рідини ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )

$V$  - швидкість руху рідини (м/с)

$D$  - гідравлічний діаметр ємності (м)

$$\Delta P = 0,025 \cdot \frac{6,9}{0,021} \cdot \frac{0,56^2 \cdot 858}{2} = 1105 \text{ Па}$$

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

### 3 Розрахунок апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів  $\varphi = 0,9$  (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі 12Х18Н10Т при  $t = 133^\circ\text{C}$

$$\sigma = 170 \text{ МПа.}$$

Тиск парів в міжтрубному просторі

$$p = 3at = 0,3 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 170 = 170 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при дозволяється занапрузі

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_m}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа,}$$

$$p_n = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_n}{[\sigma]} \quad (3.2)(3.3)(3.4)$$

$$p_n = 1,25 \cdot 0,3 \cdot \frac{218}{170} = 0,48 \text{ МПа.}$$

Розрахункова схема обичайки приведена на рисунку 3.1

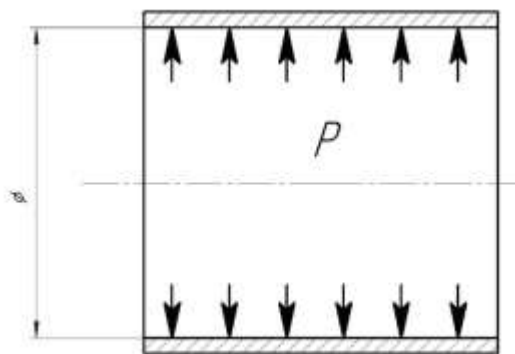


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема обичайки





Зовнішній діаметр фланця визначуваний по формулі і відповідно дотабл. 13.7 [1, табл 13.7, с.233]:

$$D_{\phi} \geq D_{\sigma} + a; \quad (3.12)$$

де:  $a$  – конструктивна добавка для розміщення гайок по діаметру фланця, приймаємо  $a = 40$  мм [1, табл. 13.27, с.264].

$$D_{\phi} = 480 + 40 = 520 \text{ мм};$$

Приймаємо  $D_{\phi} = 520$  мм.

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{nn} = D_{\sigma} - e; \quad (3.13)$$

де:  $e$  – нормативний параметр, залежний від товщини прокладки,  $e = 30$  мм [1, табл. 13.27, с.264].

$$D_{nn} = 480 - 30 = 450 \text{ мм};$$

Середній діаметр прокладки визначається по формулі:

$$D_{cn} = D_{nn} - b; \quad (3.14)$$

де:  $b$  – ширина прокладки, що приймається згідно таблиці [1, табл. 13.25, с. 262],  $b = 20$  мм.

$$D_{cn} = 450 - 20 = 430 \text{ мм};$$

Приймаємо матеріал прокладки параніт по ГОСТ 481 – 80 з товщиною  $\delta_{п} = 2$  мм.

Кількість болтів, необхідна для забезпечення герметичності з'єднання визначуваний по формулі:

$$n_{\sigma} \geq \frac{\pi \cdot D_{\sigma}}{t_{ш}} \quad (3.15)$$

де:  $t_{ш}$  – крок розташування болтів, що рекомендується, рекомендується для болтів M20 і  $P_y = 0,48$  МПа,

$$t_{ш} = (3,8 \div 4,8) \cdot d_{\sigma} = 87 \div 94, [1, \text{табл. 13,29, с.266}].$$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

$$n_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 480}{87 \div 94} = 16 \div 20 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість болтів  $n_{\phi} = 16$ , кратне чотирьом.

Висоту фланця  $h_{\phi}$  визначаємо по формулі:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\phi}}; \quad (3.16)$$

де:  $\lambda_{\phi}$  – коефіцієнт, визначуваний по графіку [1, мал. 13,14]

$$\lambda_{\phi} = 0,40;$$

$S_{\phi}$  – еквівалентна товщина втулки фланця, оскільки фланець плоский, то

$$\beta_1 = S_1/S_0 = 1, \text{ приймаємо } S_{\phi} = S_0 = 4 \text{ мм.}$$

$$h_{\phi} = 0,4 \cdot \sqrt{400 \cdot 4} = 16 \text{ мм};$$

Приймаємо висоту фланця  $h_{\phi} = 20$  мм.

Розрахункова довжина болта визначається по формулі:

$$l_{\phi} = l_{\phi 0} + 0,28 \cdot d_{\phi};$$

де:  $l_{\phi 0}$  – відстань між опорними поверхнями головки болта і гайки притовщині прокладки  $S_{\Pi} = 2$  мм;

$$l_{\phi 0} = 2 \cdot h_{\phi} + s_{\Pi};$$

$$l_{\phi 0} = 2 \cdot 20 + 2 = 42 \text{ мм};$$

$$l_{\phi} = 42 + 0,28 \cdot 23 = 48,44 \text{ мм.}$$

Приймаємо розрахункову довжину болтів  $l_{\phi} = 50$  мм.

Визначення навантажень що діють на фланець

Рівнодіючу внутрішнього тиску визначуваний по формулі:

$$F_{\partial} = \frac{\pi \cdot D_{cn}^2}{4} \cdot p_R \quad (3.17)$$

$$F_{\partial} = \frac{3,14 \cdot 0,45^2}{4} \cdot 0,48 = 0,08 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки визначається по формулі:

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot k_{np} \cdot p_R; \quad (3.18)$$

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



де:  $k_{пр}$  – коефіцієнт, залежний від матеріалу і конструкції прокладки,  $k_{пр} = 2,5$  [8];

$b_{п}$  – еквівалентна ширина прокладки, при  $b_{п} = 20$  мм:

$$b_0 = 0,6 \cdot \sqrt{b_n};$$

$$b_0 = 0,6 \cdot \sqrt{20 \cdot 10^{-3}} = 0,085 \text{ м};$$

$$R_n = 3,14 \cdot 0,45 \cdot 0,085 \cdot 2,5 \cdot 0,48 = 0,144 \text{ МН};$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій, визначається по формулі:

$$F_t = \frac{y_{\sigma} \cdot n_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \cdot E_{\sigma} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot t_{\phi} - \alpha_{\sigma} \cdot t_{\sigma})}{y_n + y_{\sigma} + 0,5 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\sigma} - D_{cn})^2} \quad (3.19)$$

де:  $\alpha_{\phi}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця

$$\alpha_{\phi} = 12,410^{-6} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1};$$

$\alpha_{\sigma}$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болта (приймаємо для болта сталь 20),  $\alpha_{\sigma} = 12,410^{-6} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$  [8],

$y_{\sigma}$  – лінійна податливість болтів, що визначається по формулі:

$$y_{\sigma} = \frac{l_{\sigma}}{E_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \cdot n_{\sigma}} \quad (3.20)$$

де:  $E_{\sigma}$  – модуль подовжньої пружності матеріалу болта  $E_{\sigma} = 2,0 \cdot 10^5$  МПа.

$f_{\sigma}$  – розрахункова площа поперечного перетину болта по внутрішньому діаметру, згідно таблиці [1, табл. 13.27, с.264]

$$f_{\sigma} = 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot \text{м}^2;$$

$$y_{\sigma} = \frac{0,05}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 16} = 1,748 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

$y_n$  – лінійна податливість неметалічної прокладки, що визначається по формулі:

$$y_n = \frac{K_n \cdot h_n}{E_n \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b} \quad (3.21)$$

де:  $K_n$  – коефіцієнт обтискання прокладки, для прокладок з параніта  $K_n = 1,0$  [1];

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$E_{\pi}$  – модуль подовжньої пружності для матеріалу прокладки  $E_{\pi} = 2000$  МПа [1].

$h_{\pi}$  – висота прокладки,  $h_{\pi} = S_{\pi} = 2$  мм.

$$y_{\phi} = \frac{1,0 \cdot 0,002}{2000 \cdot 3,14 \cdot 0,45 \cdot 0,02} = 1,52 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$y_{\phi}$  – кутова податливість фланця, що визначається по формулі:

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda'_{\phi})] \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}} \quad (3.22)$$

де:  $\nu$ ,  $\lambda'_{\phi}$  – безрозмірні параметри, що визначаються по формулах:

$$\lambda'_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{\sqrt{D \cdot s}} \quad (3.23)$$

$$\lambda_{\phi} = \frac{0,02}{\sqrt{0,45 \cdot 0,004}} = 0,433$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot (1 + \psi_1 + \frac{h_{\phi}^2}{s^2})} \quad (3.24)$$

де:  $\psi_1$  – коефіцієнт, визначуваний по формулі

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{D_{\phi}}{D}; \quad (3.25)$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg \frac{520}{400} = 0,084$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,433 \cdot (1 + 0,084 + \frac{0,02^2}{0,004^2})} = 0,09$$

$\psi_2$  – коефіцієнт, визначуваний по формулі:

$$\psi_2 = \frac{D_{\phi} + D}{D_{\phi} - D}; \quad (3.26)$$

$$\psi_2 = \frac{520 - 400}{520 + 400} = 7,66$$

$E_{\phi}$  – модуль подовжньої пружності для матеріалу фланця  $E_{\phi} = 2,0 \cdot 10^5$  МПа.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35



$$\psi_2 = \frac{D_\phi + D}{D_\phi - D};$$

$$\psi_2 = \frac{520 - 400}{520 - 400} = 7,66$$

$E_\phi$  – модуль подовжньої пружності для матеріалу фланця  $E_\phi = 2,0 \cdot 10^5$  МПа.

$$y_\phi = \frac{[1 - 0,09 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,433)] \cdot 7,66}{0,03^3 \cdot 2,0 \cdot 10^5} = 2,17 \frac{\text{м}}{\text{МН}};$$

$$F_t = \frac{4,748 \cdot 10^{-5} \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot (12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 84,5 - 12,4 \cdot 10^{-6} \cdot 83,6)}{1,52 \cdot 10^{-5} + 4,748 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 2,17 \cdot (0,48 - 0,45)^2} =$$

$$= 0,0004 \text{ МН.}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання визначується по формулі:

$$K_{ж} = \frac{y_\sigma + 0,5 \cdot y_\phi \cdot (D_\sigma - D - S_{зк}) \cdot (D_\sigma - D_{cn})}{y_n + y_\sigma + y_\phi \cdot (D_\sigma - D_{cn})^2}; \quad (3.30)$$

$$K_{ж} = \frac{4,748 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 2,17 \cdot (0,48 - 0,4 - 0,004) \cdot (0,48 - 0,45)}{1,53 \cdot 10^{-5} + 4,748 \cdot 10^{-5} + 2,17 \cdot (0,48 - 0,45)^2} = 0,84.$$

Болтове навантаження в умовах монтажу (до подачі внутрішнього тиску) визначаємо по формулі:

$$F_{61} = \max \left\{ \frac{K_w \cdot F_d + R_n}{0,5 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot P_{n,p}} \right\} \quad (3.31)$$

де:  $P_{n,p}$  – тиск віджимання прокладки, для параніта  $P_{n,p} = 20$  МПа.

$$F_{61} = \max \left\{ \frac{0,84 \cdot 0,09 + 0,48}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,45 \cdot 0,085 \cdot 20} \right\} = \max \left\{ \frac{0,556}{1,2} \right\} = 1,2 \text{ МН}$$

Болтове навантаження в робочих умовах визначаємо по формулі:

$$F_{62} = F_{61} + (1 - K_{ж}) \cdot F_d + F_t; \quad (3.32)$$

$$F_{62} = 1,2 + (1 - 0,84) \cdot 0,09 + 0,0004 = 1,215 \text{ МН};$$

Приведений момент, що вигинає, обчислюваний за формулою:

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_\sigma - D_{cn}) \cdot F_{61} \\ 0,5 \cdot [(D_\sigma - D_{cn}) \cdot F_{62} + (D_{cn} - D - s_3) \cdot F_\partial] \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \end{array} \right\}$$

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (0,48 - 0,45) \cdot 1,2 \\ 0,5 \cdot [(0,48 - 0,45) \cdot 1,215 + (0,48 - 0,4 - 0,004) \cdot 0,266] \cdot \frac{194}{170} \end{array} \right\} \quad (3.33)$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{l} 0,18 \\ 0,066 \end{array} \right\} = 0,18 \text{ MN} \cdot \text{M}.$$

### 3.3 Розрахунок опори апарата

Маса обичайки кожуха

$$m_k = \left[ \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho \quad (3.34)$$

$$m_k = \left[ \frac{3,14 \cdot (4 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot 4 \cdot 7860 = 329 \text{ кг.}$$

де  $\rho = 7860 \text{ кг/м}^3$  - щільність сталі.

Маса кришки і днища

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.35)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 0,4^2 \cdot 0,004 \cdot 7860 = 6,4 \text{ кг.}$$

маса труб

$$m_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_{6H}^2) \cdot l \cdot n \cdot \rho \quad (3.36)$$

$$m_{тр} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,0025^2 - 0,021^2) \cdot 4 \cdot 100 \cdot 7860 = 454,1 \text{ кг.}$$

Маса фланця з ґратами

$$m_\phi = \frac{\pi \cdot D_\phi^2}{4} \cdot h_\phi \cdot \rho \quad (3.37)$$

$$m_\phi = \frac{3,14 \cdot 0,56^2}{4} \cdot 0,03 \cdot 7860 = 58 \text{ кг.}$$

де  $D_\phi$  - зовнішній діаметр фланця,  $h_\phi$  - висота фланця.

Обсяг міжтрубного простору

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

$$V_M = f_{mnp} \cdot l \quad (3.38)$$

$$V_M = 0,17 \cdot 4 = 0,68 \text{ м}^3.$$

При коефіцієнті заповнення  $\phi = 0,9$

$$m_m = V_M \cdot \rho_m \cdot \phi \quad (3.39)$$

$$m_{\phi} = 0,68 \cdot 818 \cdot 0,9 = 500,6 \text{ кг.}$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані

$$G = g \cdot (m_{\kappa} + 2 \cdot m_{\kappa p} + m_{mp} + 2 \cdot m_{\phi} + m_m) \quad (3.40)$$

$$G = 9,81 \cdot (329 + 2 \cdot 6,4 + 451,4 + 2 \cdot 5,8 + 500,6) = 12810 \text{ Н} = 12,8 \text{ кН.}$$

Приймаємо кількість опор  $n = 2$  шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n} \quad (3.41)$$

$$Q = \frac{12,8}{2} = 6,4 \text{ кН.}$$

Вибираємо опору з допустимим навантаженням  $Q = 10$  кН.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39



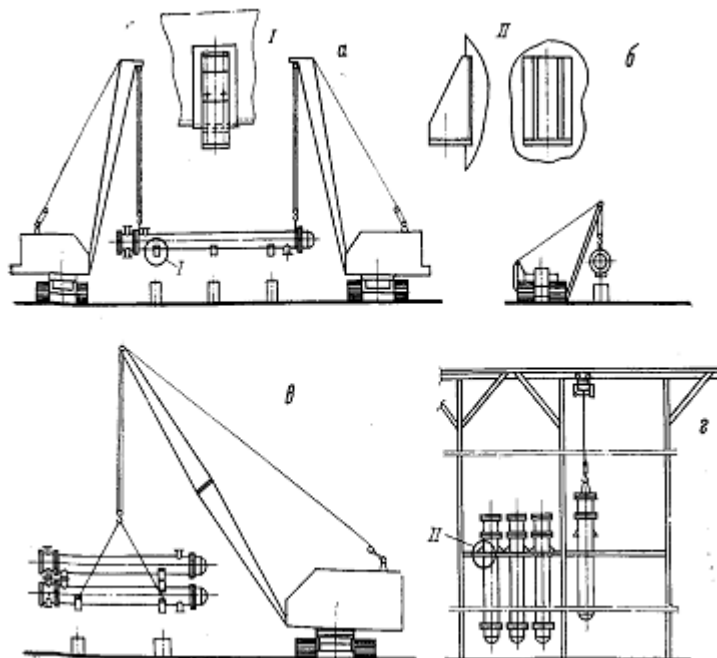


Рисунок 4.1 – Способи монтажу теплообмінних апаратів

а – за допомогою двох кранів; б - трубоукладачем; в – блок теплообмінників краном; г – вертикальних теплообмінників монобалкою; I – опора горизонтальних теплообмінників; II- опора вертикальних теплообмінників

На малюнку 4.1 під буквою «г» показана саме така схема монтажу вертикального апарата, яка підходить для нашого випадку.

- Підключення трубопроводів: З'єднайте труби гарячого та холодного середовища з відповідними входами та виходами теплообмінника. Використовуйте відповідні з'єднувальні елементи, такі як фланці, муфти або затискачі, для забезпечення герметичності трубопроводів.
- Підключення електричних розеток: За необхідності, підключіть розетки для живлення пристроїв, що управляють теплообмінником, наприклад, насосів або регуляторів.
- Перевірка герметичності: Перед ввімкненням системи, переконайтеся, що всі з'єднання є герметичними. Виконайте випробування на міцність або скористайтесь методами неруйнівного контролю для виявлення будь-яких витоків.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------



- Пусконаладжувальні роботи: Після підключення системи, перевірте роботу теплообмінника. Слідкуйте за параметрами температури, тиску та потоку, щоб переконатися в його правильному функціонуванні.

Теплообмінники, які вже змонтовані, повинні бути опресовані на пробний тиск на заводі-виробнику. Отже на монтажній площадці їх не опресовують окремо, а роблять тільки перевірку всієї системи теплообміну разом з трубопровідним обладнанням після завершення монтажних робіт. У випадку, коли немає акта заводського випробування чи якщо апарат був збережений на складі або монтажній площадці довгий період часу, теплообмінник перевіряється та, як що потрібно, підлягає ремонту перед його монтажем.

## 4.2 Ремонт апарату

Термін експлуатації вертикального кожухотрубного теплообмінника з U-подібними трубами може бути визначений кількома чинниками, такими як якість використовуваних матеріалів, умови експлуатації, правильне обслуговування та інші фактори. Загалом, вертикальні кожухотрубні теплообмінники володіють значною тривалістю служби та можуть працювати протягом багатьох років.

Протягом тривалої роботи теплообмінні апарати піддаються забрудненню та зношуванню. На їх поверхнях відкладаються масло, солі, смоли та відбувається окиснення. Збільшення таких відкладень призводить до зростання термічного опору стінки та погіршення процесу теплообміну.

### **Зношування теплообмінного апарату виявляється через такі ознаки:**

- Зменшення товщини стінки корпусу, днища та трубних ґрат, що може стати наслідком постійного використання та впливу агресивних середовищ.
- Виникнення опуклостей і вм'ятин на поверхні корпусу й днищ, які можуть виникати під час експлуатації через надмірне навантаження або механічні пошкодження.
- Поява свищ, тріщин і прогарів на корпусі, трубках і фланцях, що може бути результатом корозії, високих температур або неправильного обслуговування.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

- Збільшення діаметра отворів для труб у трубних ґратах, що може стати наслідком механічного зношування або хімічного впливу.
- Пошкодження та прогини трубних ґрат і деформація трубок, що може відбуватися під дією високих температур і тиску або механічних навантажень.
- Заклинювання плаваючих головок й пошкодження їхніх струбцин, що може статися через неправильне функціонування або механічні пошкодження.
- Ушкодження лінзових компенсаторів, яке може виникнути під впливом термічних розширень або неправильної установки.
- Пошкодження чепцевих пристроїв, каткових і пружинних опор, що може бути результатом вібрацій, перевантажень або зовнішніх ударів.
- Порушення гідро- і термоізоляції, яке може спричинити втрату тепла або витік робочого середовища.

**Заходи, які проводяться за для підготовки до ремонту апарату:**

- Здійснюється реліз надлишкового тиску до атмосферного рівня, а теплообмінний апарат очищається від продукту, забезпечуючи безпечні умови для проведення ремонтних робіт.
- Знімається арматура, та на всіх підвідних і відвідних трубопроводах встановлюються заглушки, щоб уникнути непередбачених витоків середовища.
- Проводиться промивання апарата азотом або водяною парою, далі після цього робиться промивання водою та продування повітрям, для повного очищення і видалення залишків забруднень.
- Здійснюється аналіз наявності отруйних і вибухонебезпечних речовин, щоб забезпечити безпеку під час ремонтних робіт.
- Розробляється план вогневих робіт і видається дозвіл на їх проведення, якщо є необхідність в ході ремонту, для забезпечення відповідності вимогам безпеки.
- Також складається акт передачі апарата на ремонт, документуючи його стан перед початком робіт.

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

## Ремонтні роботи проводяться в наступному порядку:

- Виконується демонтаж кришок апарата, люків, обв'язки та арматури. Це включає знімання зовнішніх елементів, що дає доступ до внутрішніх компонентів теплообмінного апарата.
- Здійснюється огляд для виявлення дефектів вальцювання, зварювання та цілісності трубок. Проводяться гідравлічні та пневматичні випробування на робочий тиск для виявлення можливих проблем.
- Частково замінюються або відключаються дефектні трубки, а також здійснюється їх кріплення вальцюванням або зварюванням.
- Здійснюється ремонт футерівки та антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною.
- Проводиться ремонт або заміна зношеної арматури, трубопроводів та регулювання запобіжних клапанів.
- Здійснюється заміна ущільнень розбірних з'єднань для забезпечення герметичності системи.
- Здійснюється витягування трубок, очищення внутрішньої поверхні корпусу апарата та теплообмінних трубок, а також очищення отворів у трубних решітках та кінців трубок.
- Проводиться заміна пошкодженої частини корпусу, днищ (кришок) та зношених деталей.
- Виготовляються нові трубки, за необхідності.
- Здійснюється монтаж трубного пучка та вальцювання труб у решітках для забезпечення правильної розташованості і функціонування системи.
- Здійснюється ремонт плаваючих голівок для забезпечення їхньої правильної роботи.
- Здійснюється монтаж нарізних з'єднань для забезпечення герметичності трубопроводів.
- Проводиться гідравлічне випробування міжтрубною і трубною частин апарата пробним тиском для перевірки їхньої міцності та герметичності.
- Виконується пневматичне випробування апарата для перевірки його роботи під дією повітряного тиску.

					XI.T.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

## Основні недоліки, що стосуються конструкції теплообмінних апаратів,

включають такі аспекти:

- Висока складність процесу розбирання та складання апарата під час чищення та заміни трубного пучка, що вимагає значних зусиль та часу.
- Обмежена надійність вальцювальних з'єднань між трубками та трубою дошкою, що може призводити до проблем з герметичністю та стійкістю таких з'єднань.
- Складність досягнення ефективного ущільнення між кришкою трубої дошки та плаваючою голівкою, що вимагає спеціальних заходів для забезпечення надійності та запобігання витокам."

**Причини відмов теплообмінників можуть бути наступними:**

- Втрата герметичності вальцювальних з'єднань, через які пропускається продукт, що призводить до недостатньої ефективності теплообміну. Виникнення проблем з вальцювальними з'єднаннями може бути зумовлено різноманітними факторами, такими як пошкодження, знос або недостатній ступінь герметичності.
- Проблеми з ущільненням кришки плаваючої голівки, що можуть призвести до витоків і втрати ефективності теплообміну. Неправильне ущільнення може бути спричинене деформацією, зносом або неправильною роботою механізму ущільнення.
- Корозія трубок трубного пучка, що може призвести до пошкоджень, втрати ефективності теплообміну та виникнення витоків. Корозія може бути спричинена різними факторами, такими як хімічні реакції, агресивні середовища або недостатня охоронні покриття."

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45



призводити до матеріальних збитків, травм і втрати людських життів.

- Несправність обладнання: Відсутність регулярного технічного обслуговування, незатверджені зміни в електричних системах та використання низькопоясного обладнання можуть привести до виникнення небезпечних ситуацій. Несправне обладнання може створити ризик ураження струмом, короткого замикання або пожежі.
- Недостатня ізоляція: Неправильна ізоляція електричних проводів або несанкціоновані зміни в системі можуть привести до витоку струму та збільшення ризику ураження людини.
- Ризик від робіт: Виконання ремонтних або монтажних робіт у неправильних умовах або без належного навчання і захисту може привести до ураження струмом. Недостатня організація робочих місць і незнання правил безпеки можуть створити небезпечну ситуацію.
- Недотримання правил безпеки: Недостатня свідомість та неповага до правил безпеки при роботі з електроустановками можуть збільшити ризик ураження людини. Неправильне підключення, використання непридатних розеток або несанкціоновані зміни в електричних мережах можуть мати серйозні наслідки.

**Щоб уникнути небезпечного ураження людини в електричних мережах, треба виконувати заходи по безпеці:**

Завжди використовуйте належне ізоляційне обладнання, таке як ізольовані рукавиці і черевики.

Переконайтеся, що електричне обладнання та проводка належним чином захищені і правильно заземлені.

Уникайте вологості та пилу неподалік від електричних приладів і розеток.

Перед проведенням будь-яких ремонтних або технічних робіт завжди відключайте електроприлади від джерел електричного живлення.

Уникайте несвідомих втручань у електричні мережі. Звертайтеся до кваліфікованих електротехніків для виконання будь-яких робіт, пов'язаних з електрикою.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

Використовуйте захисні пристрої, такі як автоматичні вимикачі з резидуальним струмом (RCD), для захисту від ураження електричним струмом.

Регулярно перевіряйте електричні системи та обладнання на наявність ознак пошкоджень або зношеності. Замінюйте пошкоджені компоненти або прилади за необхідності.

Ознайомтесь з правилами безпеки, що стосуються роботи з електричними системами та пристроями. Це включає правильну методику підключення, використання і зберігання електричного обладнання.

Дотримуйтесь національних і місцевих нормативних актів та стандартів безпеки, що стосуються електричних систем.

За допомогою цих рекомендацій та заходів безпеки можна значно знизити ризик ураження людини у наявних електричних мережах. Однак, завжди будьте обережними і свідомими, працюючи з електроустаткуванням, та уникайте потенційно небезпечних ситуацій.

					<i>XI.T.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48





10. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский – Москва : Машиностроение, 1970. – 752 с.
11. Нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные ГОСТ 5632-2014.
12. Правила безпеки з толуолом Вараниця А.О. м.Суми 2012. – 233 с.
13. <https://ocw.sumdu.edu.ua/content/751#node84372>
14. "Управління виробничою діяльністю" - М. І. Згуріди
15. "Управління виробництвом і операціями" - Н. Г. Вітленко, С. В. Крикорчук
16. "Організація виробництва" - О. С. Попов, Л. В. Рубан
17. "Проектування виробничих систем" - Ю. М. Повх, М. В. Квітка
18. "Охорона праці при виконанні робіт під напругою" - Ігор Василенко
19. "Електробезпека. Норми та правила безпеки при виконанні робіт під напругою" - Анатолій Матвіїв.
20. Закон України «Про Охорону Праці» № 1213-ІХ від 04.02.2021, ВВР, 2021.
21. Конспект лекцій по курсу «Монтаж, експлуатація та ремонт хімічного обладнання» - Яхненко С.М., Литвиненко А.В. м.Суми 2013 СумДУ.
22. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с