

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
**зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"**  
**освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг**  
**обладнання хімічних виробництв"**

Тема роботи: Ректифікаційна установка. Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування етанолу

Виконав:  
студент групи ХМдн-54р  
Подобашенко Владислав Сергійович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Яхненко Сергій Михайлович

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

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

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

Курс 3 Група ХМдн-54р Семестр 6

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

Студент Подобашенко Владислав Сергійович

1 Тема проекту: Ректифікаційна установка. Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування етанолу

2 Вихідні дані: Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування етанолу у кількості 1400 кг/год. під абсолютним тиском 0,13 МПа. У якості гарячого теплоносія використовується насичена водяна пара під тиском 0,15 МПа.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 1,0 арк.
2. Складальний кресленик кожухотрубного теплообмінника – 1,0 арк.
3. Складальний кресленик трубного пучка – 1,0 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. 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.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

доц. Яхненко С.М.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 49 с., 9 рис., 1 додаток, 21 джерело.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальний кресленик кожухотрубного теплообмінника, складальний кресленик трубного пучка – усього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Ректифікаційна установка. Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування етанолу».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу теплообміну у виробництві етанолу, виконані технологічні розрахунки апарата, визначені його габаритні розміри, гідравлічний опір, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарата, розраховане і вибране допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата. Окремим розділом представлені організація монтажних і ремонтних робіт проектованого теплообмінника. У розділі «Охорона праці» розглянуті фактори, що визначають наслідки ураження електричним струмом людини, а також види уражень.

Ключові слова: РЕКТИФІКАЦІЙНА УСТАНОВКА, ЕТАНОЛ, КОЖУХОТРУБНИЙ ТЕПЛООБМІННИК, ПАРОВИЙ ПРОСТІР, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ.

## Зміст

	С.
<b>Вступ</b>	<b>5</b>
<b>1 Технологічна частина</b>	<b>6</b>
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів	13
<b>2 Технологічні розрахунки процесу і апарата</b>	<b>15</b>
2.1 Технологічні розрахунки	15
2.2 Конструктивні розрахунки	18
2.3 Гідравлічний опір апарата	20
2.4 Вибір допоміжного обладнання	21
<b>3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність</b>	<b>26</b>
3.1 Розрахунок товщини стінки обичайки апарата	26
3.2 Розрахунок товщини стінки кришки апарата	29
3.3 Розрахунок опори апарата	29
<b>4 Монтаж та ремонт апарата</b>	<b>33</b>
4.1 Монтаж розробленого апарата	33
4.2 Ремонт апарата	34
<b>5 Охорона праці</b>	<b>38</b>
<b>Література</b>	<b>48</b>
Додаток – Специфікації до креслеників	

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
Розроб.	Подобашенко				<b>Кожухотрубний теплообмінник</b> Пояснювальна записка	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
Перевір.	Яхненко						4	49
Реценз.						<b>СумДУ, ХМдн-54р</b>		
Н. Контр.								
Затверд.	Склабінський							

## Вступ

Етанол (етиловий або винний спирт) – це органічна сполука, представник ряду одноатомних спиртів складу  $C_2H_5OH$  (скорочено EtOH). За звичайних умов є безбарвною, легкозаймистою рідиною. Згідно з Національним стандартом України ДСТУ 4221:2003 етанол – це токсична речовина з наркотичною дією, за ступенем впливу на організм людини належить до четвертого класу небезпечних речовин. Має канцерогенні властивості [1].

Етанол є активною складовою спиртних напоїв, які зазвичай виготовляються ферментацією вуглеводів. Для промислових потреб етиловий спирт часто синтезують з нафтової та газової сировини каталітичною гідратацією етилену. Окрім виготовлення харчових продуктів етанол застосовується у великій кількості як пальне, розчинник, антисептик та сировина для отримання інших промислово важливих речовин [1].

Теплообмінники-випарники кожухотрубного типу застосовують у холодильних установках для випаровування низькокиплячих холодоагентів при охолодженні нагрітих робочих середовищ до низьких температур, а також у ректифікаційних та десорбційних установках у якості парогенеруючого обладнання для обігрівання нижньої частини колони потоками пари киплячого компонента [2].

У даній кваліфікаційній роботі проектуємо кожухотрубний теплообмінник із паровим простором для випаровування частини кубового залишку (етанолу) ректифікаційної колони. У якості гарячого теплоносія, що подається у трубний простір, згідно завдання, використовується насичена водяна пара.

Стандартом регламентоване виготовлення апаратів двох різновидів [2]:

- з конічним або еліптичним днищем та компенсацією температурних подовжень застосуванням U-подібних трубок;
- з конічним або еліптичним днищем та компенсацією температурних подовжень застосуванням плаваючої голівки.

Загалом, кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до вимог методичних вказівок [3].

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>5</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Отримуваний етиловий спирт за своїм складом умовно поділяють на чотири класи [4]:

- промисловий етанол (96,5 % об.) – продукт для промислового й технічного використання: як розчинник, паливо тощо. Для запобігання його вживанню зазвичай до нього додають речовини із неприємним запахом, наприклад, піридин у кількості 0,5–1% (проводять денатурацію). Також для легшого визначення йому можуть надавати слабкого забарвлення метиловим фіолетовим;
- денатурований спирт – технічний продукт із концентрацією етанолу 88 % об., що має значну кількість домішок. Він денатурується і забарвлюється відповідним чином. Використовується в освітленні та обігріві;
- якісний алкоголь (96,0–96,5 % об.) – очищений етанол, що застосовується для потреб фармацевтики, у виготовленні косметичних засобів та для харчового споживання;
- абсолютний етанол (99,7–99,8 % об.) – надзвичайно чистий етанол, що застосовується у фармацевтиці, виготовленні аерозолів.

В Україні марки отримуваного ректифікованого етанолу регламентуються стандартом ДСТУ 4221:2003 «Спирт етиловий ректифікований». В залежності від ступеня очистки виділяється чотири сорти: «Пшенична сльоза», «Люкс», «Екстра» та «Вищої очистки» [1].

Ректифікаційна установка являє собою комплекс машин і апаратів, використовуваних для розділення двох- і більше компонентних речовин на окремі компоненти або їх групи (фракції). Технологічна схема ректифікаційної установки у виробництві етилового спирту представлена на рис. 1.

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Вихідна бікомпонентна суміш із проміжної ємності  $E_1$  надходить на розподільник  $P_1$ . У результаті цього ми отримуємо дві паралельні гілки потоків, що працюють за одним принципом.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>6</b>

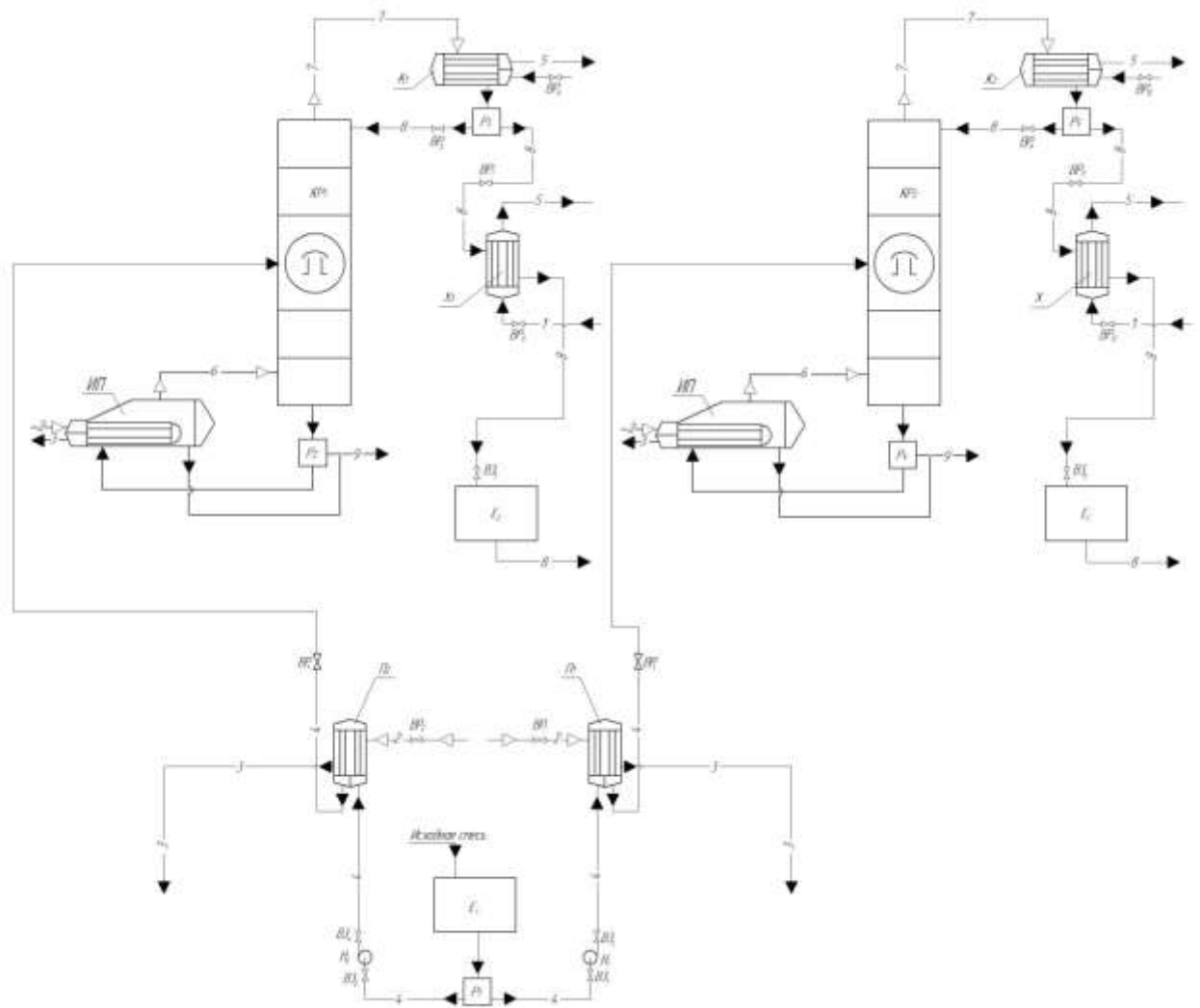


Рисунок 1 – Технологічна схема виробництва етилового спирту (етанолу)

Далі за допомогою насосів  $H_1$  і  $H_2$  суміш подається в теплообмінники-підігрівачі  $\Pi_1$  і  $\Pi_2$  відповідно, де нагрівається до температури кипіння зустрічним потоком гріючої пари, яка конденсується в міжтрубному просторі апарату.

Після таких процедур, уже нагріта суміш, надходить на тарілку живлення ректифікаційної колони. Колона складається із верхньої (зміцнюючої) і нижньої (вичерпної) частин. На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної суміші. У результаті розділення суміші з нижньої частини колони відводиться кубовий залишок (етанол), який спрямовується до споживача. Частина кубового залишку спрямовується у випарник типу ВП з паровим простором, де за рахунок тепла насиченої водяної пари відбувається вскипання кубової рідини і утворення парів ВКК. Останній повертається в колону, під її нижню тарілку, у якості парового зрошення.

Таким чином, у нижній частині ректифікаційної колони відбувається процес відгону (вичерпання) ВКК зі стікаючої донизу вихідної суміші.

У верхній частині колони відбувається процес збагачення (зміцнення) пари НКК за рахунок багатоступеневого контактування на масообмінних тарілках зі стікаючою зверху униз флегмою. Пари, що відводяться з верхньої частини колони, надходять в теплообмінник-конденсатор, де конденсуються у міжтрубному просторі апарату за рахунок відведення тепла холодоагенту, що рухається у трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається і у вигляді флегми повертається в колону на зрошення її верхньої частини. Дистиллят додатково охолоджується в холодильнику і спрямовується до відповідного збірника у якості готового продукту із високою концентрацією НКК.

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Теоретичні основи процесу теплообміну, які представлені у даному підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [5–9].

У випарниках основним завданням процесу є випаровування робочого середовища (холодного теплоносія) і переведення його з рідкого стану в паровий (або газовий) стан за рахунок передачі тепла від гарячого теплоносія до холодного, що кипить та випаровується.

У випарниках-конденсаторах по обидві сторони поверхні теплопередачі теплоносії змінюють свій агрегатний стан – у той час як гарячий теплоносії віддає тепло та конденсується, холодний теплоносії, по іншу сторону поверхні, нагрівається та випаровується.

У залежності від агрегатного стану теплоносіїв розрізняють такі теплообмінні апарати:

- без зміни агрегатного стану обох теплоносіїв (газо-газові, газо-рідинні, рідинно-рідинні холодильники та підігрівачі);
- зі зміною агрегатного стану одного з теплоносіїв (підігрівник-випарник, конденсатор-підігрівник, холодильник-конденсатор тощо);
- зі зміною агрегатного стану обох теплоносіїв (конденсатор-випарник).

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>8</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



За способом утворення теплообмінної поверхні розрізняють:

- апарати, що виготовлені із труб (трубні, кожухотрубні, змійовикові, кручені та ін.);
- теплообмінні апарати, що виготовлені з листового прокату (пластинчасті, спіральні, ламельні та ін.).

За орієнтацією теплообмінної поверхні розрізняють:

- вертикальні (В);
- горизонтальні (Г);
- похилі (П).

За способом компенсації температурних подовжень теплообмінні апарати бувають:

- без компенсації – жорсткої конструкції;
- з компенсацією пружним елементом – напівжорсткої конструкції;
- з компенсацією в результаті вільних подовжень – нежорсткої конструкції.

Наявність конструктивних пристроїв для компенсації температурних подовжень відбито в умовних позначеннях типу теплообмінника такими індексами:

- ВУ – випарник з U-подібними трубками;
- ТН – теплообмінник з нерухомими трубними дошками;
- ТП – теплообмінник із плаваючою голівкою;
- ХК – холодильник з температурним компенсатором на корпусі.

Окремі види теплообмінників мають додаткові класифікаційні ознаки.

Вибір теплообмінника здійснюється за площею поверхні теплопередачі, яка розраховується за формулою:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CP}}, \quad (1)$$

де  $Q$  – тепловий потік в апараті, Вт;

$K$  – загальний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\Delta t_{CP}$  – середня різниця температур між теплоносіями, °С.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>9</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2)$$

де  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  – коефіцієнти тепловіддачі теплоносіїв, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

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

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

Середня різниця температур при прямотоці або протитоці теплоносіїв дорівнює:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}}, \quad (3)$$

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

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

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

$$t_{CP} = \theta_{CP} \pm \Delta t_{CP}. \quad (4)$$

Основні критерії подібності, які застосовуються у розрахунках процесів конвективного теплообміну при вимушеному русі теплоносіїв, наведені нижче [9].

Критерій Нуссельта характеризує теплообмін між теплоносієм і стінкою

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}; \quad (5)$$

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>10</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Критерій Рейнольдса характеризує гідродинамічний режим руху теплоносія

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\mu}; \quad (6)$$

Критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості теплоносія

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda}; \quad (7)$$

Критерій Грасгофа характеризує режим руху теплоносія при вільній конвекції

$$Gr = \frac{l^3 \cdot g \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta\theta}{\mu^2}. \quad (8)$$

У рівняннях (5) – (8) такі позначення:

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$\lambda$  – теплопровідність теплоносія, Вт/(м·К);

$\mu$  – динамічна в'язкість теплоносія, Па·с;

$c$  – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К);

$\rho$  – густина теплоносія, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, 1/К;

$w$  – швидкість теплоносія, м/с;

$l$  – визначальний геометричний розмір, м;

$g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;

$\Delta\theta$  – частковий температурний напір (різниця між температурою гарячого теплоносія і температурою стінки або між температурою стінки і температурою холодного теплоносія), К.

Під час вимушеної конвекції теплоносії рухаються уздовж поверхні теплообміну з певною швидкістю під дією зовнішньої сили, наприклад, сили тяжіння або сили тиску, що розвивається насосом, компресором або вентилятором.

Критерії  $Re$ ,  $Pr$  і  $Gr$  є визначеними, а критерій  $Nu$  – невизначеним (тобто залежить від інших критеріїв подібності).

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі при течії рідини в прямих трубах рекомендуються [9] наступні критеріальні рівняння:

$$- \text{ для ламінарного режиму } \quad Nu_2 = 0,74 \cdot (Re_2 \cdot Pr_2)^{0,2} \cdot (Gr_2 \cdot Pr_2)^{0,1}; \quad (9)$$

$$- \text{ для перехідного режиму } \quad Nu_2 = 0,008 \cdot Re_2^{0,9} \cdot Pr_2^{0,43}; \quad (10)$$

$$- \text{ для турбулентного режиму } \quad Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,4}. \quad (11)$$

У рівняннях (9) – (11) визначальним лінійним розміром є внутрішній діаметр труб  $d_{вн}$ , а визначальною температурою є середня температура гарячого теплоносія  $t_2$ .

Рівняння тепловіддачі при кипінні рідин істотно розрізняються в залежності від виду термомеханічного режиму цього енергоємного гетерогенного процесу, що супроводжується фазовим перетворенням. У цьому випадку коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  можна виразити без прямого звернення до методів статистики через узагальнений критерій Нуссельта  $Nu^*$  і за допомогою модифікованого критерію Рейнольдса  $Re^*$  і критерію Прандтля  $Pr$  [5]:

$$Nu^* = C \cdot Re^{*n_1} \cdot Pr^{n_2}, \quad (12)$$

де  $C, n_1, n_2$  – постійні.

Також в умовах як вільного, так і вимушеного руху теплоносія можна використовувати перетворене рівняння (12), якому надають спрощений вигляд – більш зручний для визначення усередненого значення коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$  через рушійну силу процесу  $\Delta T_{кин}$  [5]:

$$\alpha = b^3 \cdot \frac{\lambda^2 \cdot (\Delta T_{кин})^2}{\nu \cdot \sigma \cdot |T_{кин}|}. \quad (13)$$

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



Утворені в результаті випаровування пари етанолу залишають апарат через верхній штуцер. Рівень рідини у випарнику підтримується за допомогою переливної планки. Рідина, яка перевищила встановлений планкою рівень, виводиться за межі апарату за допомогою зливного патрубка. Для монтажних і ремонтних робіт в апараті передбачені люк і спеціальний монтажний патрубок.

Вибір конструктивних матеріалів для виготовлення апарату проводився на підставі [10–12]. Вибір матеріалу диктується в основному його корозійною стійкістю і теплопровідністю, причому конструкція теплообмінного апарату істотно залежить від властивостей вибраного матеріалу.

Матеріали для виготовлення кожухотрубного випарника з паровим простором вибираємо відповідно до специфіки його експлуатації, при цьому враховуємо можливу зміну вихідних фізико-хімічних властивостей матеріалів під впливом робочого середовища, температури і хіміко-технологічного процесу, що протікає.

Також слід враховувати: механічні властивості матеріалу – межа міцності, відносне подовження, твердість тощо; технологічність виготовлення (особливо зварюваність); хімічну стійкість проти роз’їдання; теплопровідність.

Вибір конструктивного матеріалу робимо, виходячи із його низької вартості і не дефіцитності, але щоб можна було забезпечити ефективну технологічність виготовлення.

Таким чином, на підставі вищезазначеного, для виготовлення корпусу, фланців, розподільних камер, а також деталей, які працюють під тиском раціонально використовувати сталь 09Г2С.

Для виготовлення теплообмінних труб, штуцерів, крипіжних деталей (болти, гайки, шпильки), панелей, кронштейнів, ребер жорсткості і т. ін. використовуємо сталь 20.

Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення роз’ємів фланцевих з’єднань апарату використовуємо пароніт – листовий прокладковий матеріал, що виготовляється пресуванням азбокаучукової маси, яка складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

Технологічний розрахунок починається із визначення основних теплофізичних властивостей теплоносіїв, а саме: щільності, динамічної в'язкості, теплоємності і теплопровідності [5–7].

Згідно вихідних даних, етанол надходить у випарник вже у киплячому стані (температура кипіння при абсолютному тиску 0,13 МПа становить 83,8 °С [14]).

Тому теплове навантаження випарника у нашому випадку буде становити:

$$Q = Q_{исп} = G_x \cdot r_x, \quad (15)$$

де  $r_x$  – питома теплота пароутворення етанолу,  $r_x = 843,8 \cdot 10^3$  Дж/кг [14].

$$Q = Q_{исп} = \frac{1400}{3600} \cdot 843,8 = 328 \text{ (кВт)}.$$

Витрата гарячого теплоносія (водяної пари):

$$G_2 = \frac{Q}{c_2 \cdot (t_{н2} - t_{к2})}, \quad (16)$$

де  $c_2$  – теплоємність водяної пари,  $c_2 = 2,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К) [14];

$t_{к2}$  – кінцева температура водяної пари.

Для наближених (навчальних) розрахунків орієнтовно приймають, що температура кипіння робочого тіла повинна бути на 5–10 °С нижче середньої температури охолоджуваного теплоносія [9].

Отже, за рекомендацією [9] приймаємо  $t_{к2} = 90$  °С.

$$G_2 = \frac{328}{2,2 \cdot (111,7 - 90)} = 6,87 \text{ (кг/с)}.$$

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

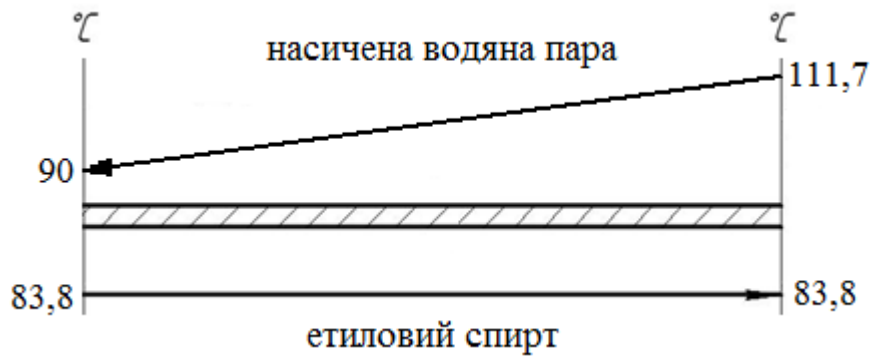


Рисунок 3 – Температурна схема процесу випаровування бензолу

Середню різницю температур визначаємо за рівнянням (3):

$$\Delta t_{cp} = \frac{21,7 - 6,2}{\ln\left(\frac{21,7}{6,2}\right)} = 12,4 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де більша різниця температур дорівнює  $\Delta t_B = 111,7 - 90 = 21,7 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;  
 менша різниця температур дорівнює  $\Delta t_M = 90 - 83,8 = 6,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Попередньо, за рівнянням (1), розраховуємо поверхню теплопередачі:

$$F = \frac{328 \cdot 10^3}{450 \cdot 12,4} = 58,8 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Вибираємо стандартизований теплообмінник з такими характеристиками:

- поверхня теплообміну  $F = 68 \text{ м}^2$ ;
- внутрішній діаметр кожуха  $D = 1000 \text{ мм}$ ;
- довжина труб  $L = 6000 \text{ мм}$ ;
- сортамент труб  $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$ ;
- кількість трубних пучків 1;
- кількість труб у трубному пучку 132;
- площа прохідного перетину одного ходу по трубах  $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ .

Фактична швидкість руху водяної пари у трубах:

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot s_{mp}}, \quad (17)$$



де  $\rho_2$  – густина водяної пари; при усередненій температурі  $\rho_2 = 0,8 \text{ кг/м}^3$ .

$$w_2 = \frac{6,87}{0,8 \cdot 23 \cdot 10^{-2}} = 37,3 \text{ (м/с)}.$$

Враховуючи, що для водяної пари динамічний коефіцієнт в'язкості дорівнює  $\mu_2 = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$  і коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія  $\beta_2 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$  визначаємо критерії:

– за рівнянням (6) – критерій Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{37,3 \cdot 0,021 \cdot 0,8}{12,5 \cdot 10^{-6}} = 50180.$$

– за рівнянням (7) – критерій Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2,2 \cdot 10^3}{2,5 \cdot 10^{-2}} = 1,1.$$

За чисельним значенням критерію Рейнольдса можемо встановити, що режим руху водяної пари в трубах – турбулентний. Значить, для визначення критерію Нуссельта використовуємо рівняння (11):

$$\text{Nu}_2 = 0,023 \cdot 50180^{0,8} \cdot 1,1^{0,4} = 137,6.$$

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_2$  визначаємо з рівняння (5):

$$\alpha_2 = \frac{137,6 \cdot 0,25}{0,021} = 1638 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони етанолу  $\alpha_x$  визначаємо з рівняння (13), попередньо розрахувавши за рівнянням (14) значення безрозмірної функції  $b$ :

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left( \frac{6,5}{740 - 6,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 1,07.$$

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		17

Для етанолу:  $\nu_x = 0,34 \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\lambda_x = 0,159 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ,  $\sigma_x = 0,017 \text{ Н}/\text{м}$ .

$$\alpha = 1,07 \cdot \frac{0,159^2 \cdot 110^2}{0,34 \cdot 0,017 \cdot 90} = 629 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Далі, за рівнянням (2), визначаємо реальний коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1638} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{629}} = 446 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Розрахункова поверхня випарника складе:

$$F_p = \frac{328 \cdot 10^3}{446 \cdot 12,4} = 59,3 (\text{м}^2).$$

Запас поверхні:

$$\Delta = \frac{F - F_p}{F} \cdot 100\% , \quad (18)$$

$$\Delta = \frac{68 - 59,3}{68} \cdot 100\% = 12,8\% .$$

Як бачимо, запас поверхні забезпечується.

Остаточо вибираємо випарник типу ТП з такими характеристиками:

- поверхня теплообміну  $F = 68 \text{ м}^2$ ;
- внутрішній діаметр кожуха  $D = 1000 \text{ мм}$ ;
- довжина труб  $L = 6000 \text{ мм}$ ;
- сортамент труб  $\text{Ø}25 \times 2 \text{ мм}$ ;
- кількість трубних пучків 1;
- кількість труб у трубному пучку 132;
- площа прохідного перетину одного ходу по трубах  $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ .

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>18</b>

Діаметри штуцерів випарника для підведення-відведення теплоносіїв визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot w}}, \quad (19)$$

де  $V$  і  $G$  – об'ємна і масова витрати рідини/пари відповідно, м<sup>3</sup>/с і кг/с;  
 $\rho$  – густина потоку середовища, кг/м<sup>3</sup>;  
 $w$  – швидкість витікання середовища, м/с.

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [9]:

– для рідини 0,1–0,5 м/с при самопливі і 0,5–2,5 м/с в напірних трубопроводах;

– для пари або газу 5–25 м/с.

Діаметр патрубку для входу рідкого етанолу в апарат:

$$d_{x.вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1400 / 3600}{3,14 \cdot 740 \cdot 0,7}} = 0,031 \text{ (м)}.$$

Діаметр патрубку для виходу парів етанолу:

$$d_{x.вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1400 / 3600}{3,14 \cdot 6,5 \cdot 8}} = 0,098 \text{ (м)}.$$

Діаметр патрубків для входу і виходу водяної пари:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,87}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 15}} = 0,085 \text{ (м)}.$$

За отриманими значеннями приймаємо стандартні патрубки:

- для входу рідкого етанолу  $D_y = 32$  мм;
- для виходу парів етанолу  $D_y = 100$  мм;
- для входу насиченої водяної пари  $D_y = 100$  мм;
- для виходу насиченої водяної пари  $D_y = 100$  мм.

## 2.3 Гідравлічний опір апарата

Розрахунок гідравлічного опору випарника визначає кількість енергії, витраченої на рух теплоносіїв через апарат. Гідравлічний опір міжтрубного простору не визначаємо, оскільки, враховуючи невеликі швидкості теплоносія, його значення дуже маленьке [16].

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики, що викладена у [16].

Повний напір, необхідний для руху рідини або газу через теплообмінник, визначаємо за такою формулою:

$$\Delta P = \Sigma \Delta P_{TP} + \Sigma \Delta P_M + \Sigma \Delta P_y + \Sigma \Delta P_{\Gamma}, \quad (20)$$

де  $\Sigma \Delta P_{TP}$  – сума гідравлічних втрат на тертя, Па;

$\Sigma \Delta P_M$  – сума втрат напору в місцевих опорах, Па;

$\Sigma \Delta P_y$  – сума втрат напору, обумовлених прискоренням потоку, Па;

$\Sigma \Delta P_{\Gamma}$  – перепад тиску для подолання стовпа рідини, Па.

Гідравлічні втрати на тертя в каналах при поздовжньому омиванні пучка труб теплообмінного апарату визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{TP} = \lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_E} \cdot \frac{w_z^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (21)$$

де  $\lambda_{TP}$  – коефіцієнт опору тертя.

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left( \frac{\Delta}{d_E} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (22)$$

де  $\Delta$  – абсолютна шорсткість поверхні труб, мм.

Для сталевих нових труб  $\Delta = 0,06-0,1$  мм, для сталевих труб, що були в експлуатації, з незначною корозією  $\Delta = 0,1-0,2$  мм.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>20</b>

$$\lambda_{TP} = 0,11 \cdot \left( \frac{0,1}{0,021} + \frac{68}{50180} \right)^{0,25} = 0,1625;$$

$$\Delta P_{TP} = 0,1625 \cdot \frac{6}{0,021} \cdot \frac{37,3^2 \cdot 0,8}{2} = 25838 \text{ (Па)}.$$

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

$$\Delta P_M = \xi \cdot \frac{w_2^2 \cdot \rho_2}{2}, \quad (23)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору. Його знаходять як суму опорів кожного елемента випарника:  $\xi = 2 \cdot \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4$  (вхідна і вихідна камери  $\xi_1 = 1,5$ , вхід у труби  $\xi_2 = 0,5$  і вихід із них  $\xi_3 = 1$ , поворот на  $180^\circ$  між ходами  $\xi_4 = 1,4$  [16]).

$$\xi = 2 \cdot 1,5 + 0,5 + 1 + 1,4 = 5,9.$$

$$\Delta P_M = 5,9 \cdot \frac{37,3^2 \cdot 0,8}{2} = 3283 \text{ (Па)}.$$

Оскільки для крапельних рідин втрати тиску  $\Delta P_y$  мізерно малі, то вони в розрахунок не приймаються ( $\Delta P_y = 0$ ).

Перепад тиску для подолання гідростатичного стовпа рідини дорівнює нулю ( $\Delta P_r = 0$ ), оскільки випарник не сполучається із навколишнім середовищем.

Повний напір, необхідний для руху середовищ через апарат складе:

$$\Delta P = 25838 + 3283 = 29121 \text{ (Па)}.$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

**Розрахунок і вибір збірника для вихідної суміші.** Відповідно до технологічної схеми (рис. 1), вихідна суміш, яка надходить на установку для подальшого розділення, потрапляє у збірник-сховище (поз. Е1).

За вихідними даними, витрата етанолу, що надходить у проєктований випарник, становить 1400 кг/год. Отже, приймаємо таке припущення, що

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>21</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

продуктивність ректифікаційної установки в цілому за вихідною сумішшю становить 10000 кг/год. Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу і з урахуванням коефіцієнта заповнення  $\psi = 0,8 \dots 0,85$ . Приймаємо  $\psi = 0,85$ .

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}, \quad (24)$$

де  $G$  – загальна витрата суміші, кг/год.;

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

$\rho$  – густина вихідної суміші,  $\rho = 740$  кг/м<sup>3</sup>.

$$V_{EP} = \frac{10000 \cdot 7}{0,85 \cdot 740} = 111,3 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Задаємося стандартизованим діаметром ємності  $D = 3,6$  м, тоді її висота складе:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (25)$$

$$H = \frac{111,3}{0,785 \cdot 3,6^2} = 11 \text{ (м)}.$$

**Розрахунок і вибір насоса для подачі вихідної суміші в колону** (рис. 1, поз. Н<sub>1</sub>). Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів прийmemo однакову швидкість плинy рідини, що дорівнює  $w = 2$  м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (26)$$

де  $V$  – об'ємна витрата вихідної суміші, м<sup>3</sup>/с.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>22</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d = \sqrt{\frac{3,47 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,050 \text{ (м)}.$$

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини в трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (27)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,050 \cdot 800}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 320000,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо  $\Delta = 2 \cdot 10^{-4}$  м. Тоді

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,050} = 0,004.$$

Далі отримаємо:

$$\frac{1}{e} = 250; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 140000; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 2500; \quad \text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, автомодельної по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (28)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,004^{0,25} = 0,028.$$

Далі визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої і нагнітальної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями)  $\xi_1 = 0,5$ ;

2) 2 коліна з кутом  $90^\circ$   $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$ .

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2;$$

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>23</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для нагнітальної лінії:

1) вентилі прямоточні, 2 шт.  $\xi_1 = 2 \cdot 0,65 = 1,3$ ;

2) 3 коліна з кутом  $90^\circ$   $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$ ;

3) вихід із труби  $\xi_3 = 1$ .

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3;$$

$$\Sigma \xi = 1,3 + 3,3 + 1 = 5,6.$$

Втрачений напір у всмоктуючій лінії знаходимо за формулою:

$$h_{П.ВС.} = \left( \lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (29)$$

де  $l, d_E$  – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left( 0,028 \cdot \frac{8}{0,050} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,46 \text{ м.}$$

Втрачений напір в нагнітальній лінії знаходимо за формулою (29):

$$h_{П.НАГ.} = \left( 0,028 \cdot \frac{12}{0,050} + 5,6 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,51 \text{ (м).}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАГ.}, \quad (30)$$

$$h_{П.} = 1,46 + 2,51 = 3,97 \text{ (м).}$$

Знаходимо напір насоса за рівнянням:

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>24</b>



$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{\Pi}, \quad (31)$$

де  $(P_2 - P_1)$  – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина;  
 $H_{\Gamma}$  – геометрична висота підйому рідини.

$$H = \frac{0,1}{740 \cdot 9,81} + 6 + 3,97 = 10 \text{ (м)}.$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{\Pi} = \rho_p \cdot g \cdot Q \cdot H, \quad (32)$$

де  $Q$  – подача (витрата),  $Q = 3,47 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$H$  – напір насоса.

$$N_{\Pi} = 740 \cdot 9,81 \cdot 3,47 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 252 \text{ (Вт)}.$$

Потужність, яку повинен розвивати електродвигун насоса на вихідному валу при сталому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_n}, \quad (33)$$

де  $\eta_n, \eta_{\text{пер}}$  – коефіцієнти корисної дії відповідно насоса і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо  $\eta_n = 0,6$  і  $\eta_{\text{пер}} = 1$ .

Отримуємо:

$$N = \frac{252}{1 \cdot 0,6} = 420 \text{ (Вт)}.$$

Вибираємо відцентровий насос марки ЦНС 13-18 з такими параметрами:  
 об'ємна подача насоса  $13 \text{ м}^3/\text{год}$ .; напір насоса  $18 \text{ м}$ ; потужність, споживана насосом  $2,5 \text{ кВт}$ ; частота обертання  $2200 \text{ об/хв}$ .

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>25</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки обичайки апарата

Розрахунок проводимо відповідно до методики, що викладена у [17]. Приймаємо робочий тиск у міжтрубному просторі 0,13 МПа.

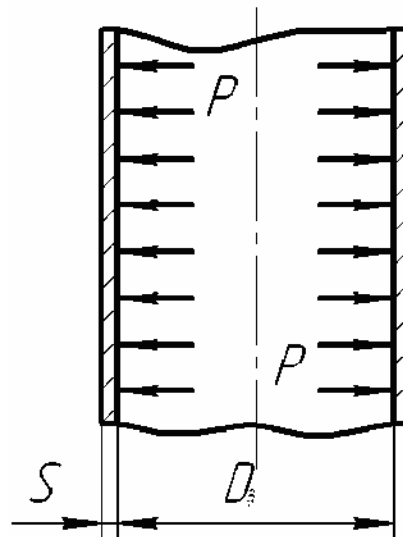


Рисунок 4 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Знаходимо величину нормативної допустимого напруження для сталі 09Г2С при розрахунковій температурі 90°C:  $\sigma^* = 202$  МПа.

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \sigma^* \cdot \eta, \quad (34)$$

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

$$[\sigma] = 202 \cdot 1 = 202 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження при гідравлічних випробуваннях:

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sigma_T^{20}}{1,1}, \quad (35)$$

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

$$[\sigma]_{II} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа.}$$

Далі визначаємо розрахунковий тиск:

$$P_p = P + P_r, \quad (36)$$

де  $P = 0,13 \text{ МПа}$  – робочий тиск;

$P_r$  – гідростатичний тиск середовища.

Гідростатичний тиск середовища:

$$P_r = g \cdot \rho_p \cdot H_p; \quad (37)$$

$$P_r = 9,81 \cdot 740 \cdot 0,6 = 0,004 \text{ МПа};$$

$$P_p = 0,13 + 0,004 = 0,134 \text{ МПа.}$$

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

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, 0,2 \right\}, \quad (38)$$

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

$$P_{II} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,134 \cdot 196}{202} = 0,195 \text{ МПа}, 0,2 \text{ МПа} \right\} = 0,2 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина циліндричної обичайки:

$$S_p^{II} = \max \left\{ \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - P_p}, \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{II} - P_{II}} \right\}; \quad (39)$$

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>27</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$S_p^H = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,134 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,134} = 0,33 \\ \frac{0,2 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,2} = 0,4 \end{array} \right\} = 0,4 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

$$S_{II} \geq S_p^H + c, \quad (40)$$

де  $c$  – прибавка до розрахункових товщин конструктивних елементів:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (41)$$

$c_1$  – прибавка для компенсації корозії та ерозії;

$c_2$  – прибавка для компенсації мінусового допуску;

$c_3$  – технологічна прибавка.

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

$$c_1 = P \cdot \tau, \quad (42)$$

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

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

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

$$S_{II} = 0,4 + 1,8 = 2,2 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S_{II} = 4$  мм.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>28</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Розрахунок товщини стінки кришки апарата

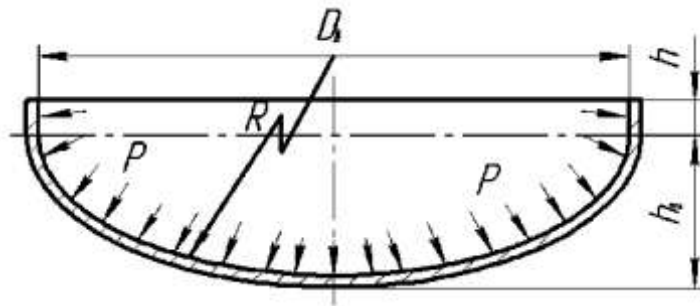


Рисунок 5 – Розрахункова схема еліптичного днища

Розрахункова товщина еліптичного днища:

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_P \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_P} \\ \frac{P_{II} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot [\sigma]_{II} - 0,5 \cdot P_{II}} \end{array} \right\}; \quad (43)$$

$$S_P^E = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,134 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,5 \cdot 0,134} = 0,33 \\ \frac{0,2 \cdot 1000}{2 \cdot 1 \cdot 254,4 - 0,5 \cdot 0,2} = 0,4 \end{array} \right\} = 0,4 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина еліптичного днища:

$$S_E \geq S_P^E + c; \quad (44)$$

$$S_E = 0,4 + 1,8 = 2,2 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S_E = 4 \text{ мм.}$

### 3.3 Розрахунок опори апарата

Знаходимо масу обичайки кожуха:

$$m_k = \left[ \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S_{II})^2}{4} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho, \quad (45)$$

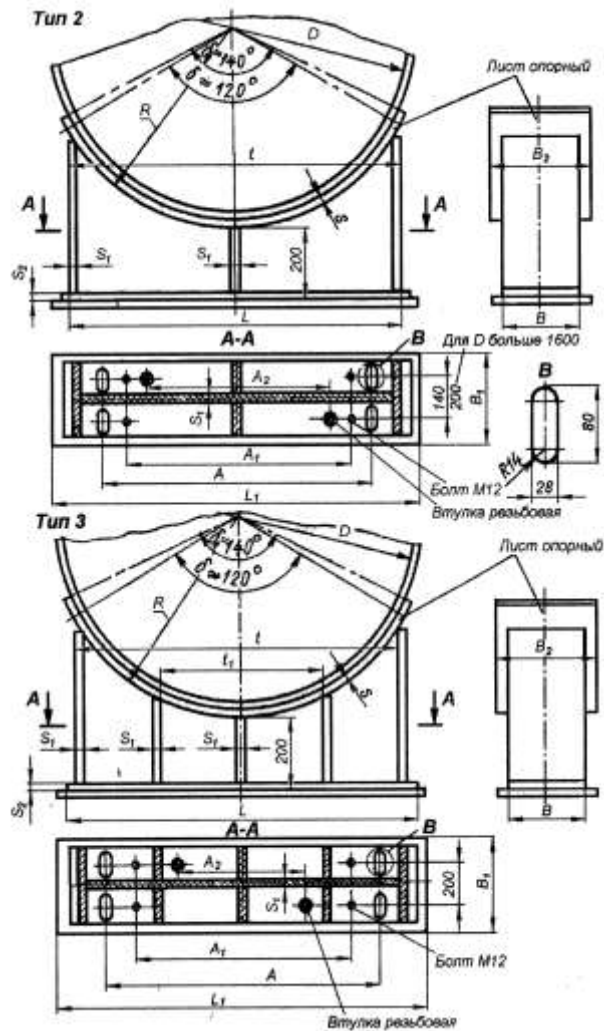


Рисунок 6 – Конструктивна схема стандартних сидлових опор

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

$$m_k = \left[ \frac{3,14 \cdot (1 + 2 \cdot 0,004)^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \right] \cdot 6 \cdot 7890 = 597 \text{ (кг)}.$$

Маса еліптичного днища і кришки відповідно (згідно [17]):

$$m_E = 1,24 \cdot D^2 \cdot S_E \cdot \rho; \quad (46)$$

$$m_{E_{\text{дн}}} = 1,24 \cdot 1^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 39 \text{ (кг)};$$

$$m_{E_{\text{кр}}} = 1,24 \cdot 0,6^2 \cdot 0,004 \cdot 7890 = 14,1 \text{ (кг)}.$$

Маса труб:

$$m_{mp} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_n^2 - d_{вн}^2) \cdot H \cdot n \cdot \rho; \quad (47)$$

$$m_{mp} = \frac{3,14}{4} \cdot (0,025^2 - 0,021^2) \cdot 6 \cdot 132 \cdot 7890 = 903 \text{ (кг)}.$$

Маса фланця з решіткою:

$$m_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot h_{\phi} \cdot \rho, \quad (48)$$

де  $D_{\phi}$  – зовнішній діаметр фланця, м;

$h_{\phi}$  – висота фланця, м.

$$m_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 0,61^2}{4} \cdot 0,06 \cdot 7890 = 138 \text{ (кг)}.$$

Об'єм міжтрубного простору:

$$V_{mtp} = f_{mtp} \cdot H; \quad (49)$$

$$V_{mtp} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \text{ (м}^3\text{)}.$$

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

$$m_x = V_{mtp} \cdot \rho_x \cdot \varphi; \quad (50)$$

$$m_x = 1,2 \cdot 740 \cdot 0,5 = 444 \text{ (кг)}.$$

Сила тяжіння апарату в робочому стані:

$$G = g \cdot (m_k + m_{\text{Дн}} + m_{\text{Экр}} + m_{mp} + m_{\phi} + m_x); \quad (51)$$

$$G = 9,81 \cdot (597 + 39 + 14,1 + 903 + 138 + 444) = 20945 \text{ (Н)}.$$

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>31</b>

Приймаємо кількість опор  $n = 2$  шт.

Навантаження на одну опору складе:

$$Q = \frac{G}{n}; \quad (52)$$

$$Q = \frac{20945}{2} = 10472,5 \text{ (Н)}.$$

Остаточно приймаємо стандартну сідлову опору 400-514-2-П, конструктивні розміри якої (умовні позначення див. рис. 6):  $D = 1000$  мм;  $R = 514$  мм;  $S_1 = 8$  мм;  $S_2 = 14$  мм;  $L = 1000$ ;  $A = 650$  мм;  $A_1 = 550$  мм;  $A_2 = 400$  мм;  $l = 980$  мм;  $B = 250$  мм;  $L_1 = 1020$  мм; втулка для опори М48;  $S = 6$  мм;  $B_2 = 360$  мм.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>32</b>



## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж розробленого апарата [18]

Випарник етанолу з паровим простором відноситься до кожухотрубних теплообмінників. Технологія монтажу апаратів такої конструкції залежить від місця і способу їх установки. Вони можуть бути встановлені на відкритому майданчику, на постаменті чи в середині будівлі, а також горизонтально чи вертикально.

У нашому випадку мова йде про горизонтальний апарат, який розміщений на відкритому майданчику на нульовій позначці. Фундаменти виконують у вигляді двох залізобетонних стовпів з анкерними болтами під опори. При монтажі встановлюють нерухому і рухому опори. Гайки на болтах не закручують повністю (залишають зазор 1–2 мм), щоб апарат міг вільно переміщуватись в горизонтальному напрямку. При установці опор, які мають змогу переміщуватися, перевіряють рівномірність прилягання ковзаник до опорних поверхонь і їх перпендикулярність осі апарата. Горизонтальність апарату перевіряють за рівнеміром.

У деяких випадках при монтажі проводять контрольне розбирання (ревізію) кожухотрубних теплообмінників. При цьому перевіряють наявність прокладок, комплектність знімних деталей, правильність їх взаємного розташування.

Для виявлення дефектів у розвальцьовуванні і обварці трубок трубний пучок спресовують (при знятій розподільній камері і кришці) шляхом подачі води в міжтрубний простір. При цьому також оглядають корпус теплообмінника. Дефекти розвальцьовування або обварки усувають.

Горизонтальне обладнання монтують за допомогою одного або двох (спарених) кранів. Спосіб підйому і вантажопідйомність кранів вибирають в залежності від розміру і маси обладнання, висоти і конфігурації фундаменту або постаменту під обладнання, наявності розташованих поруч будівельних конструкцій та ін.

Горизонтальні апарати особливо великої маси і при підйомі на значну висоту часто монтують за допомогою двох кранів. Монтаж починають з підйому апарата із вихідного горизонтального положення без відриву його від землі. На рис. 7 показані найбільш сприятливі умови роботи кранів при монтажі апаратів.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>33</b>

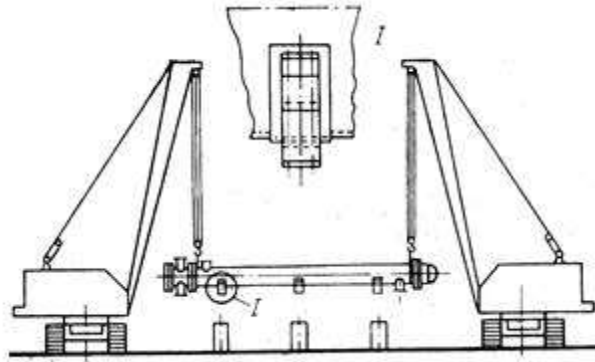


Рисунок 7 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника

Коли установка одного з кранів із зовнішньої сторони фундаментів неможлива, монтаж апаратів виконують лише маневруванням стріли крана. У тих випадках, коли при підйомі апаратів неможливо розташувати крани із зовнішньої сторони фундаментів і проїхати між фундаментами, збільшують виліт стріли кранів або переміщують крани з піднятим апаратом у межах їх вантажної характеристики.

#### 4.2 Ремонт апарата [18]

Теплообмінники з трубною системою мають підвищену надійність, що дозволяє їм функціонувати без збоїв протягом довгих років. Але не варто забувати, що планове технічне обслуговування просто необхідне для профілактики поломок. Циркулюючий теплоносій з часом засмічує тонкі стінки трубок, осідаючи на них і перешкоджаючи вільному потоку. Уникнути передчасного виходу обладнання із ладу і зберегти енергоефективність дозволить регулярне чищення трубок. Завдяки систематичному промиванню можливо довгострокове підтримання робочих параметрів у нормі. Безпосередньо ж ремонт кожухотрубних теплообмінників, у більшості випадків, необхідний лише у разі надмірного зносу обладнання.

Найбільш поширеними дефектами поламаних теплообмінників є:

1) Виривання трубок з трубних дощок. Дана проблема зазвичай виникає через нерівномірне розширення трубок та корпусу. Варіанти вирішення:

- зачистка місця розриву і обварки трубки заново;
- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заварювання (заглушка) трубки.



Також, як і в описаному вище випадку, при встановленні заглушок необхідно дотримати вимоги з урахуванням збільшеного опору. Із огляду на причини виникнення наскрізної корозії, можна припустити, що з великою ймовірністю, найближчим часом можуть почати виходити з ладу такі трубки.

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

3) Наскрізна корозія корпусу або камер. Дана проблема, також як і наскрізна корозія трубок, зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при невірно підбраному матеріалі трубок. Варіанти вирішення:

- підварювання або установка заплатки;
- виготовлення нової камери (корпусу).

4) Засмічення по трубках або по міжтрубному просторі. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв НЕ фільтрується належним чином, або якщо відбувається поява природного нагару (при роботі з вихлопними газами).

Варіанти вирішення:

- механічне очищення;
- хімічне очищення.

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

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

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>36</b>

5) Покриття вапном (накипом) або іншими відкладеннями міжтрубного простору або самих трубок. Ця проблема може виникнути в тому випадку, якщо один з теплоносіїв є рідина (вода) з невідповідним для даного процесу хімічним складом (наприклад, надмірно мінералізована). Варіанти вирішення: очистка за допомогою спеціальних хімічних засобів.

У разі появи великого шару мінеральних відкладень (накипу) хімічне очищення може бути неефективним. У такому випадку трубний пучок не підлягатиме ремонту і буде необхідно виготовити новий трубний пучок.

Дефектні штуцера і трубні решітки при досягненні максимальних величин зносу і прогину замінюються.

Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або постановкою накладок з попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають протяжність і положення кінців тріщин, виявлених в корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюють свердлами діаметром 3–4 мм. Некрізні тріщини глибиною не більше 0,4 товщини стінки розправляються під заварку односторонньою вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям крайок під кутом 50–60°. При тріщині понад 100 мм зварювання проводять оберненоступеневим методом. Наскрізні і некрізні тріщини глибиною більше 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорізкою. При появі гніздових тріщин пошкоджені місця вирізають і закривають латками без гострих кутів. Латки вваривать в рівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати площі листа апарату.

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

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

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>37</b>

## 5 Охорона праці

**Фактори, що визначають наслідки ураження електричним струмом людини. Види уражень.**

Фактори, які визначають небезпеку ураження електричним струмом, поділяються на три групи:

- електричного характеру (напруга, величина струму, рід і частота струму, опір тіла людини електричному струму);
- неелектричного характеру (індивідуальні особливості людини, її увага, шлях проходження струму через тіло людини, тривалість дії струму);
- фактори навколишнього середовища.

**Фактори електричного характеру.** Струм, який проходить через тіло людини, є основним фактором ураження при електротравмі.

Виділяють такі порогові значення струму:

- пороговий струм відчуття;
- пороговий струм невідпускання;
- пороговий струм фібриляції.

Пороговий струм відчуття – найменше значення відчутного струму, який при проходженні його через тіло людини викликає відчуття подразнення (0,6-1,5 мА при змінному струмі частотою 50 Гц і 5-7 мА при постійному струмі).

Пороговий струм невідпускання – найменше значення електричного струму, що викликає при проходженні через організм людини непереборні судомні скорочення м'язів руки, в якій затиснений провідник (10-15 мА при змінному струмі частотою 50 Гц і 50-80 мА при постійному струмі).

Пороговий струм фібриляції – найменше значення електричного струму, який викликає при проходженні через організм людини фібриляцію (хаотичні скорочення) серця (100 мА при змінному струмі частотою 50 Гц і 300 мА при постійному струмі).

Напруга, яка виникає на тілі людини, впливає на наслідки ураження і визначається опором тіла людини і струмом, що через нього протікає в момент ураження.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>38</b>

Гранично допустима напруга на людині при нормальному (неаварійному) режимі електроустановок не повинна перевищувати таких значень: 2 В при змінному струмі і 8 В при постійному струмі.

При високих температурі (більше 35°C) і вологості (більше 75%) критичні значення струму і напруги необхідно зменшувати у три рази.

Опір тіла людини умовно можна розділити на три складові: два однакових опори зовнішнього шару шкіри і опір внутрішніх органів.

Різні тканини людини по-різному проводять струм. Найбільшим електричним опором відзначається шкіра людини і, особливо, верхній ороговілий її шар, в якому немає кровоносних судин (70-80% загального опору).

В практичних розрахунках приймається, що опір тіла людини активний лінійний та дорівнює 1000 Ом. При зволоженні, забрудненні чи ушкодженні шкіри опір людини різко зменшується.

Опір електричного тіла людини являє собою складний опір, в який включаються послідовно: опір тіла людини, опір одягу та опір взуття.

**Фактори неелектричного характеру.** На тяжкість ураження людини електричним струмом впливає тривалість його дії:

- зі збільшенням часу проходження струму через організм людини опір тіла зменшується (через зволоження шкіри від поту), тому струм збільшується;
- зі збільшенням часу впливу струму на організм людини зменшуються захисні сили організму, які протидіють електричному струму.

На кінцевий результат ураження (травми) істотно впливає шлях струму через тіло людини. Особливо велика небезпека виникає тоді, коли струм проходить через основні органи: серце, головний мозок, легені.

З усіх випадків електротравматизму найчастіше зустрічаються такі шляхи струму: права рука – ноги, рука – рука. Згідно з аналізом випадків з важкими і смертельними результатами слід виділити такі:

- рука – рука (45% випадків);
- права рука – нога (25%);
- ліва рука – ноги (15%);

- нога – нога (5%).

За висновками лікарів, найбільш небезпечні шляхи струму: голова – рука, голова – ноги, рука – рука. Ці шляхи струму проходять через основні органи людини, ураження яких призводить до тяжких наслідків.

Індивідуальні психологічні і фізіологічні особливості людини мають значний вплив на результат ураження електричним струмом, наприклад, струм невідпускання для одних людей не становить небезпеки, у інших – викликає електротравми.

Характер впливу струму однієї і тієї ж величини залежить від маси тіла людини, її фізичного розвитку, стану нервової системи і всього організму.

Так, у стані хвороби (особливо нездорової шкіри, хвороби нервової і серцево-судинної систем, органів дихання і под.), депресії, збудження нервової системи, алкогольного сп'яніння людина більш чутлива до проходження струму і порогові значення знижуються. Особливу роль відіграє фактор уваги. Якщо людина чекає електричного удару і підготувала себе до нього, то ступінь небезпеки різко знижується і результат впливу буде менш значним. А раптовий удар призводить до гірших наслідків. Для чоловіків порогові значення в 1,5 раза вищі, ніж для жінок [19].

**Фактори навколишнього середовища.** Навколишнє середовище значною мірою визначає наслідок дії електричного струму на людину. Опір перегрітого організму знижується, тому з підвищенням температури тяжкість ураження струмом підвищується. Небезпечність ураження електричним струмом зростає також і з підвищенням вологості та забрудненості повітря.

Вологість, струмопровідний пил, їдка пара і гази руйнуюче діють на ізоляцію електрообладнання, знижуючи її опір. При цьому виникає потенціальна небезпека переходу напруги на конструктивні елементи електрообладнання (корпуси, станини, кожухи тощо), до яких торкаються люди.

Усі приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом поділяються на три класи:

- приміщення без підвищеної небезпеки;
- приміщення з підвищеною небезпекою;



– особливо небезпечні приміщення.

Приміщення без підвищеної небезпеки характеризуються нормальною вологістю та температурою повітря, відсутністю пилу, наявністю неструмопровідної (ізольованої) підлоги. В них відсутні ознаки двох інших класів. У більшості випадків до приміщень без підвищеної небезпеки належать кабінети, зали, лабораторії, приладні ділянки машинобудівних заводів.

Монтаж електричних улаштувань можна виконувати, застосовуючи дрiт без підвищеної ізоляції з установкою будь-яких вимикачів, штепсельних розеток і світильників.

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю хоча б однієї з таких ознак:

– підвищена температура (температура повітря тривалий час перевищує 35 оС або короткочасно перевищує 40 °С незалежно від пори року і різноманітних теплових випромінювань);

– підвищена (понад 75 %) відносна вологість повітря;

– наявність струмопровідного пилу (металевого, вугільного тощо) на обладнанні та провідниках;

– струмопровідна підлога (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);

– можливість одночасного торкання людини до металоконструкції будівлі, яка не має сполучення з землею, та технологічного апарата або механізмів, з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання – з іншого.

До цієї групи приміщень належать складські неопалювані приміщення, механічні цехи та ділянки з нормальною температурою, вологістю, без виділення пилу, але зі струмопровідною підлогою.

Особливо небезпечні приміщення характеризуються наявністю хоча б однієї з таких ознак:

– особлива сирість (відносна вологість повітря близько 100 %, коли стеля, стіни, підлога та предмети в приміщенні вологі);

– хімічно активне або органічне середовище (приміщення, в яких постійно або протягом тривалого часу міститься агресивна пара, гази, рідини, утворюються

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>41</b>

відкладення або пліснява, які руйнують ізоляцію і струмоведучі частини електрообладнання);

– одночасна наявність двох або більше ознак, властивих приміщенням з підвищеною небезпекою.

Електроустановки, які експлуатуються на відкритому повітрі або під навісом, вважаються електроустановками, які розташовані в особливо небезпечних приміщеннях.

Для особливо небезпечних приміщень нормативними документами передбачається роздільне прокладання дроту з якісною ізоляцією, спеціальної конструкції вимикачі, електродвигуни, пускова і освітлювальна арматура.

Клас приміщень за небезпечністю ураження струмом враховують при виборі допустимої напруги переносних світильників, яка в приміщеннях без підвищеної небезпеки становить 42 В, в приміщеннях з підвищеною небезпекою – 24 В, а в особливо небезпечних приміщеннях – 12 В [20].

Небезпечна та шкідлива дія на людей електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля виявляється у вигляді електротравм та професійних захворювань.

Дія електричного струму на живу тканину має своєрідний і різносторонній характер. Проходячи крізь організм людини, електричний струм виконує термічну, електролітичну (електрохімічну), механічну дії. Ці дії притаманні як живій так і не живій матерії. Одночасно струм викликає і біологічну дію, що являється особливим, специфічним процесом, властивим лише живій тканині.

Така багатогранна дія електричного струму на організм людини нерідко призводить до різних травм.

Травми (рани, пошкодження), які викликані дією струму чи електричної дуги називають електротравмами. Електротравми умовно можна розділити на два види:

- місцеві електротравми;
- загальні електротравми, або так звані електричні удари, коли уражається весь організм внаслідок порушення нормальної діяльності життєво важливих органів та систем.

**Місцеві електротравми** – досить виражене місцеве порушення цілісності тканин тіла, в тому числі кісткових тканин, викликане дією електричного струму чи електричної дуги. Найчастіше це поверхневі пошкодження, тобто ураження шкіри, інших м'яких тканин, зв'язок, кісток.

Характерні місцеві електротравми – електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні пошкодження, електрофтальмія.

Електричний опік – це пошкодження поверхні тіла чи внутрішніх органів електричною дугою або великими струмами, що проходять через тіло людини. В залежності від умов виникнення визначають два види опіків: струмовий (контактний) і дуговий.

Струмовий опік зумовлений проходженням струму безпосередньо через тіло людини в результаті дотику до струмовідної частини. Струмовий опік – наслідок перетворення електричної енергії в теплову. Найчастіше це опік шкіри. Оскільки шкіра людини має в багато разів більший електричний опір, ніж інші тканини тіла, то і тепла виділяється в ній більше.

Струмові опіки виникають під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В і є, в більшості випадків, опіками першого та другого ступеню.

Розрізняють наступні чотири ступені опіків:

- 1.Почервоніння шкіри;
- 2.Утворення водяних пухирів;
- 3.Омертвіння всієї товщини шкіри;
- 4.Обвуглення шкіри, тканин.

Важкість травми організму при опіках визначається не ступенем опіку, а площиною поверхні обпеченого тіла.

Дуговий опік зумовлюється появою електричної дуги між струмовідною частиною електрообладнання та тілом людини або між струмовідними частинами електроустановки. Дугові опіки є наслідком випадкових коротких замикань, наприклад, під час виконання робіт під напругою на щитах і збірках до 1000 В, вимірах струмовимірювальними кліщами в установках понад 1000 В.

В установках більш високої напруги дуга може виникати в разі випадкового наближення людини до струмовідних частин, що перебувають під напругою, на

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>43</b>

відстань, при якій відбувається пробій повітряного проміжку, а також при помилкових операціях з комутаційними апаратами (наприклад, при вимкненні роз'єднувача під навантаженням за допомогою штанги). При цьому дуга часто перекидається на людину і через тіло проходить великий струм – десятки ампер.

Електрична дуга має високу температуру (понад 3500°C) і велику енергію, що призводить до важких травм, а частіше – смертельного наслідку.

Електричні знаки (знаки струму або електричні мітки) це виразно окреслені плями сірого чи жовтавого кольору на поверхні шкіри людини.

Найчастіше знаки мають круглу або овальну форму і розміри від 1 до 5 мм з заглибленням в центрі. Зустрічаються знаки у вигляді подряпин, блискавки, невеликих ран, бородавок, крововиливів в шкіру, мозолів, струмовідної частини до якої доторкнулась людина.

Поверхня знаку суха, не запалена, подібна до мозолів. Електричні знаки безболісні і, якщо людина залишилась жива, їх лікування закінчується успішно: з часом верхній шар шкіри (епітелій) сходить і уражене місце набуває початкового кольору, еластичності, чутливості.

Металізація шкіри – проникнення в верхні шари дрібних частинок розплавленого під дією електричної дуги металу. Кожна з цих частинок, хоч і має високу температуру, проте малий запас тепла недостатній для пропалення одягу. Тому уражаються відкриті частини тіла – руки та обличчя.

Ділянка шкіри має жорстку поверхню і набуває металевого блиску. Потерпілий відчуває на ураженій ділянці біль від опіків під дією теплоти занесеного в шкіру металу та напруження шкіри від присутності стороннього тіла.

З часом хвора шкіра сходить, уражена ділянка набуває нормального вигляду та еластичності, больові відчуття зникають. Лише при ураженні очей наслідки можуть бути важкими. Тому роботи при виконанні яких можливе виникнення електричної дуги повинні виконуватись в захисних окулярах, робоча одежа застібнута на всі гудзики, комірць закритий, рукави не заковчені а опущені і застібнуті.

Механічні пошкодження виникають як наслідок різких скорочень м'язів під дією струму, що проходить через тіло людини. Це призводить до розриву сухожиль, шкіри, кровоносних судин, нервової тканини. Можуть бути вивихи суглобів

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>44</b>

та переломи кісток. Механічні пошкодження відбуваються в основному в установках до 1000 В у випадку тривалого (декілька секунд) перебування людини під напругою.

Електрофтальмія – запалення зовнішніх оболонок очей – рогівки і кон'юнктиви (слизової оболонки), що виникає під дією потужного потоку ультрафіолетового проміння. Таке опромінення можливе під час утворення електричної дуги, яка крім видимого світла інтенсивно випромінює ультрафіолетові та інфрачервоні промені.

Електрофтальмія розвивається через 4-8 годин після ультрафіолетового опромінення. При якому спостерігається почервоніння та запалення слизових оболонок повік, слъзозовиділення, гнійне виділення із очей, спазми повік, часткове осліплення. Потерпілий відчуває сильний головний біль і різкий біль в очах, який посилюється на світлі, у потерпілого виникає світлобоязнь. У важких випадках запалюється рогівка і порушується її прозорість, розширюються судини рогової та слизової оболонок, звужується зіниця. Хвороба продовжується кілька днів.

**Електричний удар** – збудження живих тканин організму електричним струмом, що проходить через них, яке супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. В залежності від наслідку ураження електрострумом електричні удари можливо умовно поділити на наступні чотири ступені:

- 1) судомне скорочення м'язів, яке супроводжується сильним болем, але без втрати свідомості;
- 2) судомне скорочення м'язів з втратою свідомості за наявності дихання та роботи серця;
- 3) втрата свідомості і порушення серцевої діяльності або дихання;
- 4) клінічна смерть, тобто відсутність дихання та кровообігу.

Клінічна (або уявна) смерть – перехідний стан від життя до смерті, який настає з моменту припинення діяльності серця і легень. При цьому відсутні всі признаки життя людини, -відсутнє дихання, серце не працює, відсутня реакція на болеві подразники, зіниці ока різко розширені і не реагують на світло. Тривалість клінічної смерті визначається часом з моменту припинення серцевої діяльності і дихання до початку загибелі клітин кори головного мозку (нейронів) через кисне-

ве голодування. В більшості випадків ця тривалість становить 4 – 6 хвилин, а в здорових людей – до 8 хвилин, і якщо за цей час не надати людині термінової допомоги то клінічна смерть перейде в біологічну – незворотне явище, коли припиняються біологічні процеси в клітинах і тканинах, починається розпадання білкових структур.

Причинами смерті від електричного струму можуть бути: припинення дихання, зупинка серця і електричний шок.

При величині 20-25 мА змінного струму, що проходить через тіло людини судомне скорочення м'язів грудної клітки утруднює дихання. Із збільшенням струму ця дія посилюється. За тривалої дії такого струму настає асфікція – задуха через нестачу кисню і надлишок вуглекислого газу в організмі. При асфікції послідовно втрачається свідомість, чутливість, рефлексі, припиняється дихання і, через деякий час, зупиняється серце (по причині припинення подачі кисню в організм). Припинення дихання може бути викликане відносно невеликими струмами від 20 до 100 мА, при значній тривалості (кілька хвилин) його проходження.

При проходженні через тіло людини змінного струму частотою 50 Гц і величиною 100 мА на протязі кількох секунд настає фібриляція серця. Фібриляційний струм – це змінний струм величиною від 100 мА і до 5 А.

Фібриляція серця – хаотичні неодночасні скорочення волокон серцевого мускула (фібрил), за яких серце не зможе проганяти кров по судинах. При фібриляції серця, що виникла в результаті короткочасної дії струму, дихання може продовжуватися ще 2-3 хвилини. Людина, швидко звільнена від струму, іноді до моменту втрати свідомості може сказати кілька слів і проявити інші признаки життя, хоча в цей час серце її, вже не працює як насос, знаходячись в стані фібриляції.

Оскільки разом із кровообігом припиняється також постачання киснем організму – настає швидке погіршення загального стану і дихання припиняється – настає клінічна смерть.

Фібриляція триває не довго, переходячи в повну зупинку серця. При змінному струмі величиною понад 5А фібриляція не спостерігається. Спочатку припиняється дихання, а потім настає зупинка серця.

Електричний шок – своєрідна велика нервово-рефлекторна реакція організму у відповідь на надмірне подразнення електричним струмом.

Після дії струму спочатку настає короткочасна фаза збудження, а потім настає гальмування і виснаження нервової системи, виникає депресія, повна апатія при свідомості. Шоковий стан триває від декількох десятків хвилин до кількох діб. Після цього може наступити або загибель людини - як наслідок повного гасіння життєво важливих функцій, або одужання - як наслідок лікарняного втручання.

Статистично біля 72% нещасних випадків із смертельним наслідком припадає на припинення дихання, біля 28% - на зупинку серця і долі відсотку – на електрошок. Найчастіше смертельний наслідок настає за одночасної дії фібриляції серця та зупинки дихання [21].

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>47</b>

## Література

1. Етанол [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Етанол>
2. Дистанційний курс «Процеси та апарати хімічних виробництв». Тема 19. Сучасні конструкції теплообмінного обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://dl.sumdu.edu.ua/textbooks/22852/266093/index.html>
3. 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.
4. Kosaric N. et al. Ethanol // Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. – 6th. – Weinheim : Wiley-VCH, 2005.
5. Маньковский О. Н. Теплообменная аппаратура химических производств: Инженерные методы расчета / О. Н. Маньковский, А. Р. Толчинский, М. В. Александров. – Ленинград : Химия, 1976. – 368 с.
6. Методичні вказівки та контрольні завдання для самостійної роботи з дисципліни «Процеси та апарати хімічних виробництв (частина 1)» / укладачі: Я.Е. Михайловський, М.П. Юхименко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 61 с.
7. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
9. 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.
10. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
11. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.

					<b>ПОХНВ.Т.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>48</b>



12. 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.

13. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.

14. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

15. Дячек П.И. Холодильные машины и установки: Учебное пособие / П.И. Дячек. – Ростов на Дону : Феникс, 2007. – 424 с.

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

17. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Л. : Машиностроение, 1984. – 301 с.

18. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1980. – 312 с.

19. Кобилянська І. М., Кобилянський О. В., Яблочников С. Л. Основи охорони праці : Навчальний посібник. – Вінниця, 2007. – 171 с.

20. Інструкція № 1 з охорони праці для працівників неелектричних професій (інструктаж на I групу з електробезпеки) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://portal.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/08/01\\_Instrukтаж\\_na\\_1-iu\\_gruppu\\_po\\_elektrobezopasnosti.pdf](https://portal.sumdu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/08/01_Instrukтаж_na_1-iu_gruppu_po_elektrobezopasnosti.pdf)

21. Кухровський П. П. Електробезпека на виробництві та в побуті П. П. Кухровський. – Хмельницький, 2005. – 206 с.