

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: Виробництво етанолу. Розробити  
кожухотрубний теплообмінник для випаровування етанолу

Виконав:  
студент групи ХМз – 81с  
Овчаренко Андрій Анатолійович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка  
№ \_\_\_\_\_

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

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:  
канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

**СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Кафедра хімічної інженерії**

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

Курс 4    Група ХМз – 81с    Семестр 8

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

Студенту Овчаренку Андрію Анатолійовичу

1 Тема проекту: Виробництво етанолу. Розробити кожухотрубний теплообмінник для випаровування етанолу

2 Вихідні дані: Розробити кожухотрубний теплообмінник з паровим простором для випаровування етанолу у кількості 1450 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 виробництва етанолу – 1,0 арк.
2. Складальне креслення кожухотрубного теплообмінника – 1,0 арк.
3. Складальне креслення пучка трубного – 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 2021 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

доцент Юхименко М.П.

## Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
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
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	15
2.1 Технологічні розрахунки	15
2.2 Конструктивні розрахунки	18
2.3 Гідравлічний опір апарата	19
2.4 Вибір допоміжного обладнання	21
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	26
3.1 Розрахунок товщини стінки обичайки апарата	26
3.2 Розрахунок товщини стінки кришки апарата	29
3.3 Розрахунок опори апарата	29
4 Монтаж та ремонт апарата	33
4.1 Монтаж розробленого апарата	33
4.2 Ремонт апарата	34
5 Охорона праці	38
Список літератури	42
Додаток – Специфікації до графічної частини	

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Овчаренко</i>				<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Юхименко</i>				4	43	
<i>Реценз.</i>					<b>СумДУ, ХМз – 81с</b>		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Склабінський</i>						
<b>Кожухотрубний випарник</b>							
<i>Пояснювальна записка</i>							

## Вступ

**Етанол (етиловий спирт, винний спирт)** – це органічна сполука, представник ряду одноатомних спиртів складу  $C_2H_5OH$  (скорочено **EtOH**). За звичайних умов є безбарвною, легкозаймистою рідиною із температурою кипіння  $78,29^{\circ}C$ . Згідно із Національним стандартом України ДСТУ 4221:2003 етанол є токсичною речовиною з наркотичною дією, за ступенем впливу на організм людини належить до четвертого класу небезпечних речовин та має канцерогенні властивості. Етанол є активною складовою спиртних напоїв, які зазвичай виготовляються ферментацією вуглеводів. Для промислових потреб етиловий спирт часто синтезують із нафтової та газової сировини каталітичною гідратацією етилену. Окрім виготовлення харчових продуктів етанол застосовується у великій кількості як паливо, розчинник, антисептик та сировина для отримання інших промислово важливих речовин [1].

Кожухорубні випарники 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.

У результаті комплексної роботи над проектом закріплюються практичні навички в розрахунках і проектуванні апаратів хімічної технології. Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок із дотриманням нормативних вимог і представленням усіх регламентованих розділів [3].

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						<b>5</b>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Отримуваний етиловий спирт за своїм складом умовно поділяють на наступні класи: 1) 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; 2) 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; 3) якісний алкоголь (96,0–96,5 % об.) – очищений етанол, що застосовується для потреб фармацевтики, у виготовленні косметичних засобів та для харчового споживання; 4) абсолютний етанол (99,7–99,8 % об.) – надзвичайно чистий етанол, що застосовується у фармацевтиці, виготовленні аерозолів [4].

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.

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.

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

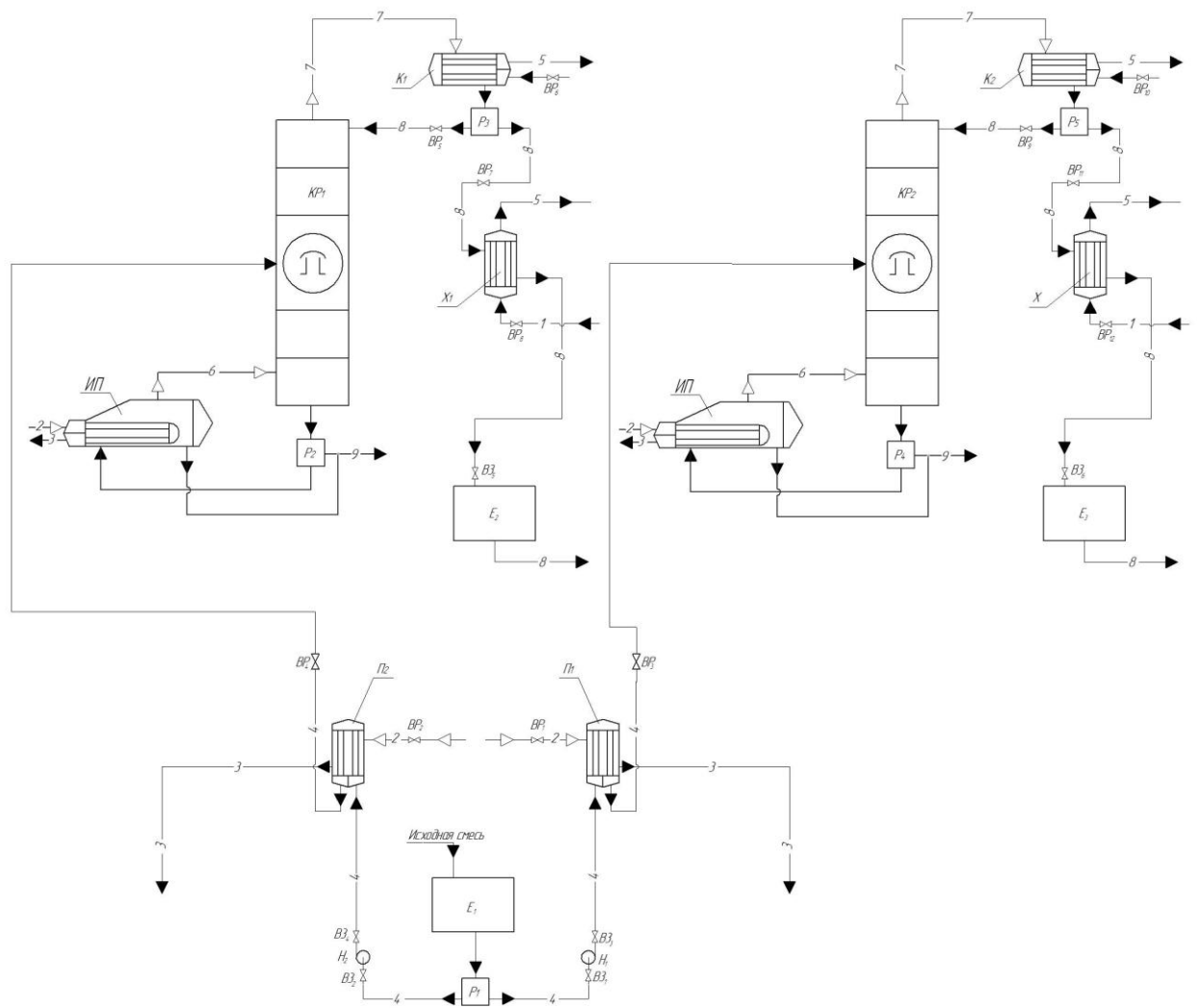


Рисунок 1 – Технологічна схема виробництва етилового спирту (етанолу)

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. Дистилят 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, газорідинні, 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).

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.).

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

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.

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.

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:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>9</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



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

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

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

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

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

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

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). 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  $d_{\text{вн}}$ , 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.

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

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]:

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

У рівнянні (13) усі позначення відповідають позначенням рівнянь (5) – (8), а  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу, [Н/м].

Чисельне значення безрозмірною функції  $b$ , визначаємо з рівняння [5]:

$$b = 0,75 + 7,5 \cdot \left( \frac{\rho_{II}}{\rho_P - \rho_{II}} \right)^{2/3}, \quad (14)$$

де  $\rho_P, \rho_{II}$  – відповідно густини рідини і пари, кг/м<sup>3</sup>.

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

Загальний вигляд проектуваного апарату (випарник з паровим простором типу ВП) представлений на рис. 2.

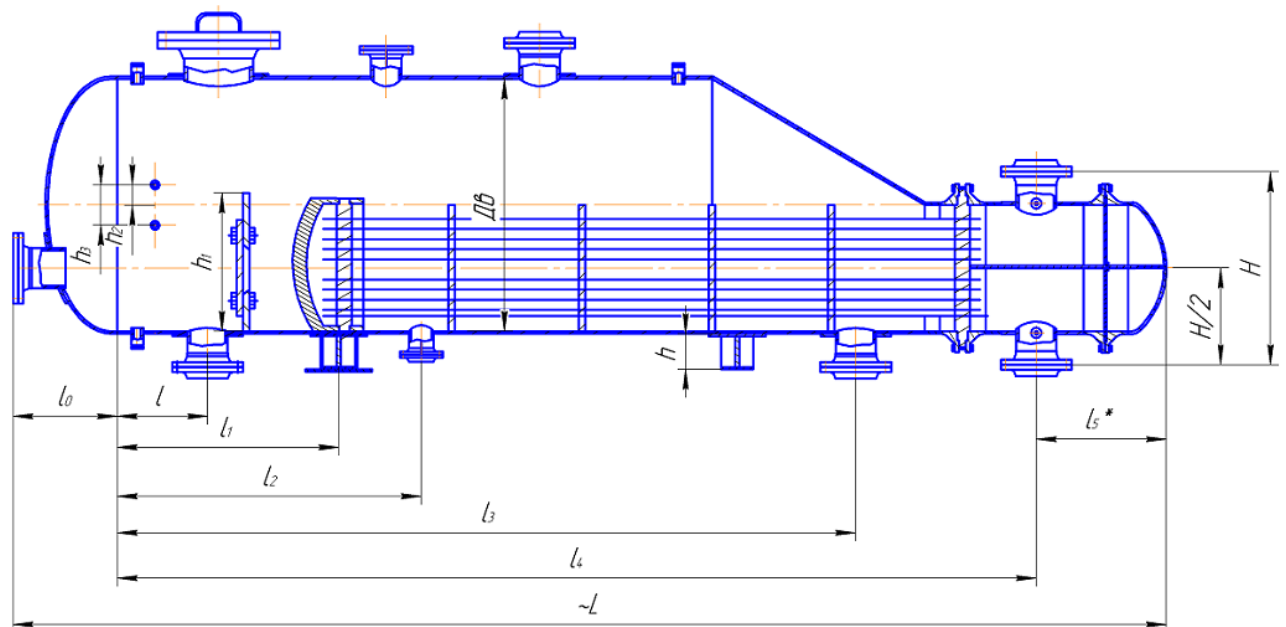


Рисунок 2 – Схема випарника з паровим простором типу ВП

Принцип роботи випарника полягає в наступному. Через патрубок при температурі кипіння під абсолютним тиском 0,13 МПа у міжтрубний простір випарника подається холодний теплоносій – етанол. При цьому в розподільну камеру випарника надходить гарячий теплоносій – насичена водяна пара, яка при тиску 0,15 МПа має температуру 111,7 °С. За допомогою теплопередачі через сталеву стінку теплообмінних труб відбувається активне випаровування етанолу.

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.

						<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			<b>13</b>

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

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

## 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,  $r_x = 814,5$  кДж/кг [14].

$$Q = Q_{исп} = \frac{1450}{3600} \cdot 814,5 = 328 \text{ (кВт)}.$$

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.

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

Середню різницю температур визначаємо за рівнянням (3), де більша різниця температур дорівнює  $\Delta t_Б = 111,7 - 90 = 21,7$  °С; менша різниця температур дорівнює  $\Delta t_М = 90 - 83,8 = 6,2$  °С.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

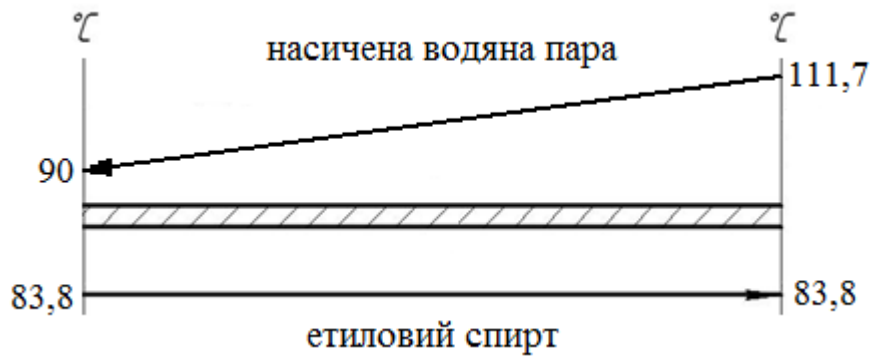


Рисунок 3 – Температурна схема процесу випаровування бензолу

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

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:

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

– за рівнянням (6) – критерій Рейнольдса:

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

– за рівнянням (7) – критерій Прандтля:

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

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

$$Nu_2 = 0,023 \cdot 50180^{0,8} \cdot 1,1^{0,4} = 137,6.$$

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

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

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

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

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:

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

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



## 2.2 Конструктивні розрахунки

Розрахункова поверхня випарника складе:

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

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  $s_{mp} = 23 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ .

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,  $\text{м}^3/\text{с}$  і  $\text{кг}/\text{с}$ ;  
 $\rho$  – густина потоку середовища,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $w$  – швидкість витікання середовища,  $\text{м}/\text{с}$ .

Рекомендовані швидкості руху теплоносіїв [9]:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>18</b>

– 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 патрубків для входу рідкого етанолу в апарат:

$$d_{x.вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1450 / 3600}{3,14 \cdot 740 \cdot 0,7}} = 0,031 \text{ (м)}.$$

Діаметр патрубків для виходу парів етанолу:

$$d_{x.вих} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1450 / 3600}{3,14 \cdot 6,5 \cdot 8}} = 0,098 \text{ (м)}.$$

Діаметр патрубків для входу і виходу водяної пари:

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

За отриманими значеннями приймаємо стандартні патрубків:

- 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 Гідрравлічний опір апарата

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

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

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.

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

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

Гідравлічні втрати тиску в місцевих опорах визначаємо за формулою:

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>20</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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 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.;

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>21</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$\tau$  – 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:

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

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

**Розрахунок і вибір насоса для подачі вихідної суміші в колону (рис. 1, поз. Н<sub>1</sub>).** Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводів приймемо однакову швидкість плинину 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.

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

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>22</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Далі отримаємо:

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

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  $90^\circ$   $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$  .

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

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

Для нагнітальної лінії:

- 1) вентиля 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:

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>23</b>

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

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:

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

де  $(P_2 - P_1)$  – різниця тисків в апараті і в ємності, із якої подається рідина;

$H_{Г.}$  – геометрична висота підйому рідини.

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

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

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

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

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>24</b>

$H$  – напір насоса.

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

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

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

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

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 м<sup>3</sup>/год.; напір насоса 18 м; потужність, споживана насосом 2,5 кВт; частота обертання 2200 об/хв.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>25</b>



### 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.

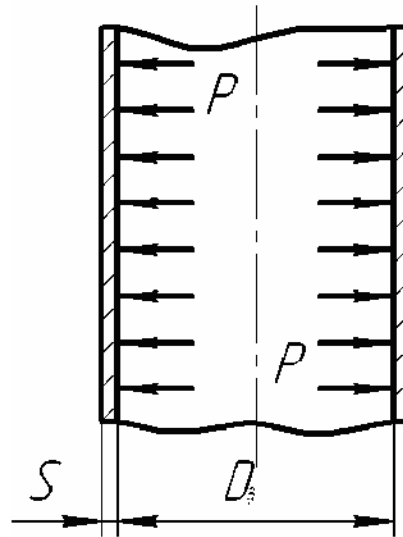


Рисунок 4 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

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.

					<b>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>26</b>

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

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>XI.T.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.

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

Виконавча товщина циліндричної обичайки:

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

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>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						<b>28</b>
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Розрахунок товщини стінки кришки апарата

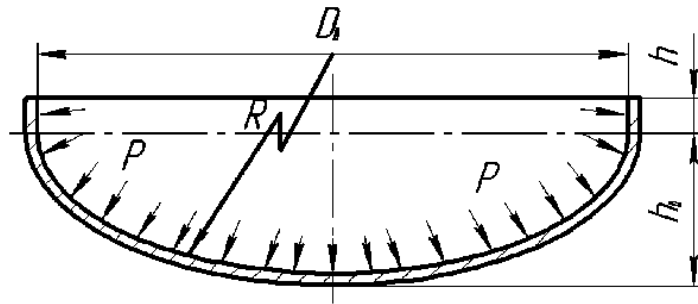


Рисунок 5 – Розрахункова схема еліптичного днища

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:

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

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

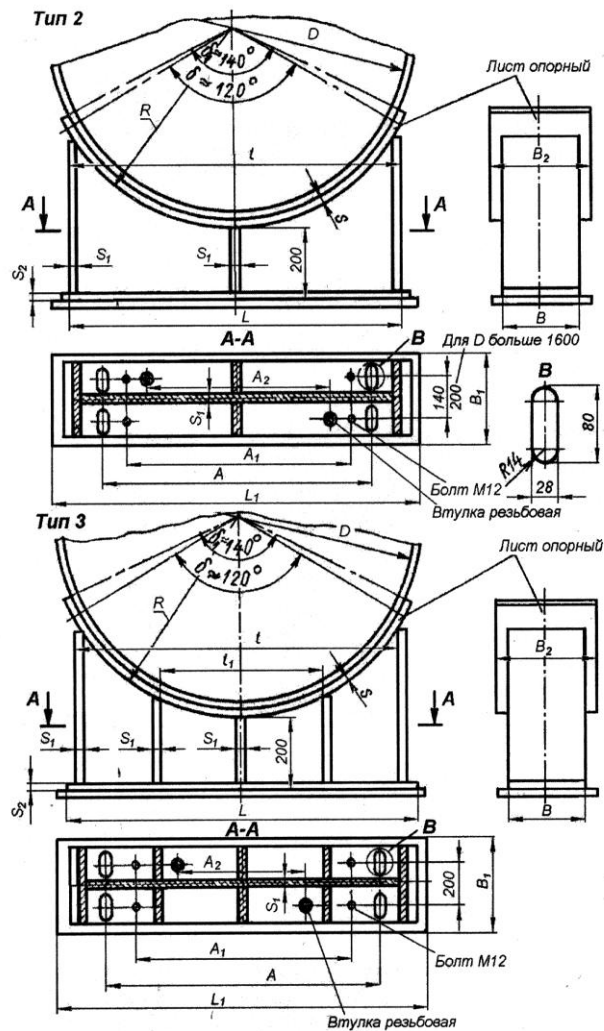


Рисунок 6 – Конструктивна схема стандартних сидлових опор

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:

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

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

					<b>XI.T.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>XI.T.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>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<b>33</b>



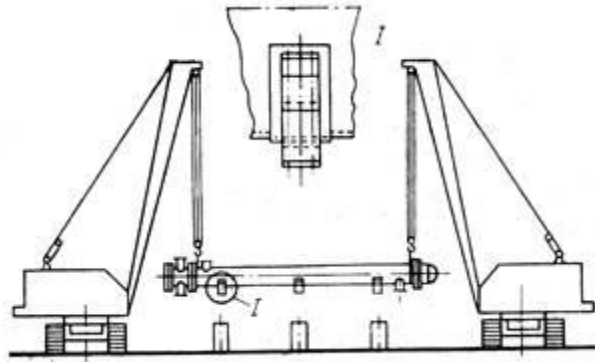


Рисунок 7 – Схема монтажу горизонтального теплообмінника

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.

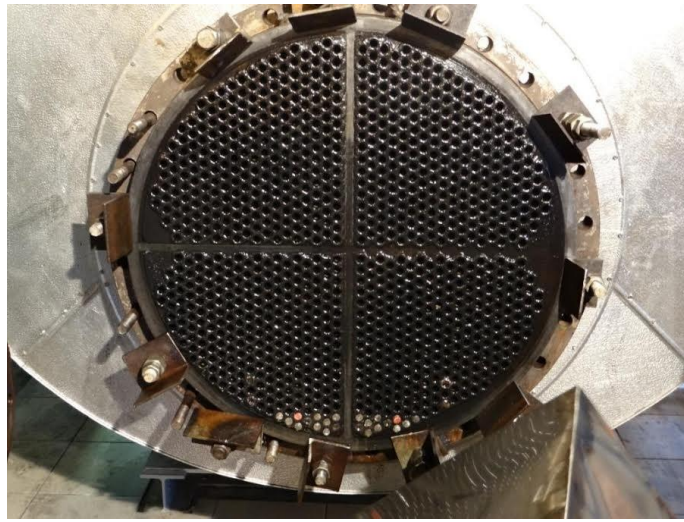


Рисунок 8 – Кожухотрубний теплообмінник з вирваними трубками

Якщо встановлюються заглушки на дефектні трубки, необхідно враховувати, що опір даної траси зростає, а також трохи погіршується теплообмін. Зазвичай теплообмінники розраховують таким чином, щоб без сильного впливу на технологічний процес можна було загнушити до 10 % трубок. У кожному разі це питання треба вивчати окремо.

2) Наскрізна корозія трубок. Дана проблема зазвичай виникає або через тривалість використання теплообмінника і безпосередній корозії, або при невірно підбраному матеріалі трубочатки. Варіанти вирішення:

- висвердлювання трубки і установка нової трубки;
- зачистка і заварювання (заклушка) трубки.



Рисунок 9 – Кожухотрубний теплообмінник з корозією трубок

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**XI.T.00.00.00 ПЗ**

Лист

**35**

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>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<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>XI.T.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		<b>37</b>

## 5 Охорона праці

### Пожежна профілактика під час проектування і будівництва промислових підприємств. Класифікація приміщень за ступенем пожежної небезпеки та вибухопожежонебезпеки

Пожежі та вибухи на промислових об'єктах становлять велику небезпеку для персоналу цих об'єктів та населення і можуть завдати величезних матеріальних збитків. Питання забезпечення пожежної безпеки виробничих та споруд мають велике значення та регламентуються спеціальними державними рішеннями та постановами. Пожежна безпека може бути забезпечена заходами **пожежної профілактики** та **активного пожежного захисту** [19].

**Поняття пожежної профілактики** включає комплекс заходів, вкладених у попередження виникнення пожежі та створення умов запобігання шкоди від них. Під **активним пожежним захистом** розуміються заходи, що забезпечують успішну боротьбу із пожежами або вибухонебезпечною ситуацією [19].

При пожежі на промислових підприємствах створюється складна обстановка для пожежогасіння, тому потрібна розробка комплексу заходів та протипожежного захисту. Цей комплекс включає заходи профілактичного характеру та влаштування систем пожежогасіння. Пожежна профілактика є складовою частиною технологічних процесів виробництва, містобудування, планування та забудови населених пунктів. Її заходи враховуються при проектуванні, будівництві, реконструкції, експлуатації об'єктів, будівель, споруд, транспортних засобів та у побуті. Організацією пожежної профілактики займаються органи Державного пожежного нагляду [19].

**Пожежна профілактика досягається** [19]:

- розробкою, використанням пожежних правил на об'єктах і контролю над їх дотриманням;
- веденням конструювання та проектування створюваних об'єктів із урахуванням їхньої пожежної безпеки;
- удосконаленням та утриманням у готовності протипожежних засобів;
- регулярним проведенням пожежно-технічних обстежень об'єктів, житлових та громадських будівель;

- пропагування пожежно-технічних знань серед населення.

Заходи щодо пожежної профілактики поділяються на **організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні**.

**Організаційні заходи передбачають [20]:**

- правильну експлуатацію обладнання та транспорту;
- правильне утримання будівель, споруд та території;
- протипожежний інструктаж робітників та службовців об'єкта;
- організацію добровільних пожежних формувань, пожежно-технічних комісій;
- видання наказів із питань посилення пожежних формувань тощо.

**До технічних заходів відносяться [20]:**

- дотримання протипожежних правил та норм при проектуванні будівель, влаштуванні електропроводів та обладнання, опалення, вентиляції, освітлення;
- правильне розміщення устаткування.

**Заходи режимного характеру** – це заборона куріння у невстановлених місцях виробництва зварювальних та інших вогневих робіт у пожежонебезпечних приміщеннях [20].

**Експлуатаційними заходами** є своєчасні профілактичні огляди, ремонти та випробування технологічного обладнання [20].

Пожежна профілактика на промислових об'єктах організується на основі загальних вимог до всіх об'єктів, а також відповідно до категорії пожежної небезпеки технологічних процесів на кожному із них.

Підвищити вогнестійкість будівель і споруд можна облицюванням або оштукатурюванням металевих конструкцій, захистом дерев'яних конструкцій оштукатурюванням (вапняно-цементне, азбоцементне, гіпсове покриття або просочування їх антипіренами (фосфорно-кислий амоній, сірчано-кислий) [19].

**Влаштування протипожежних розривів між будинками.** Величини протипожежних розривів між основними та допоміжними будинками визначають з урахуванням їхньої вогнестійкості вони можуть перебувати в межах від 9 до 18 метрів [19].

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

**Зонування території.** Цей захід полягає у групуванні при генеральному плануванні підприємств в окремі комплекси об'єктів, споріднених за функціональним призначенням та ознакою пожежної небезпеки [19].

Влаштування внутрішньозаводських доріг, які повинні забезпечувати безперешкодний зручний проїзд пожежних автомобілів до будь-якої будівлі об'єкта; вибір місць розташування пожежних депо. Одна зі сторін підприємства повинна примикати до дороги загального користування.

Влаштування внутрішнього протипожежного водопроводу та установок пожежогасіння, пожежної сигналізації [19]:

- заміна займистих перекриттів на вогнетривкі;
- встановлення електрообладнання в пиловологонепроникному виконанні;
- систематизація зберігання горючих матеріалів, створення буферних складів, що унеможливають накопичення горючих матеріалів на робочих місцях;
- відділення особливо небезпечних технологічних ділянок виробництва протипожежними перешкодами (протипожежні стіни, перекриття, люки, двері, ворота, тамбур-шлюзи та вікна).

Протипожежні стіни виконуються з вогнетривких матеріалів і повинні мати межу вогнестійкості не менше 2,5 год. і спиратися на фундаменти. Протипожежні двері, вікна та ворота у протипожежних стінах повинні мати межу вогнестійкості не менше 1 години, а протипожежні перекриття – не менше 1 години. Перекриття не повинні мати отвори, через які можуть проникати в приміщення продукти горіння при пожежі [20].

Також у чистоті та справності підтримуються шляхи евакуації людей під час пожежі. При виникненні пожежі люди повинні залишити будівлю в мінімальний час, що визначається найкоротшою відстанню від їхнього місцезнаходження в будівлі до зовнішнього виходу. Число евакуаційних виходів із будівель, приміщень та кожного поверху будівлі визначається розрахунком, але має становити не менше двох. Виходи повинні бути розосереджені [19].

Приміщення виробничого та складського призначення незалежно від їх функціонального призначення за пожежною та вибухопожежною небезпекою поділяються на наступні категорії [21]:

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

**1. Підвищена вибухопожежобезпечність (А).** Характеризуються присутністю в них горючих газів, легкозаймистих рідин з температурою спалаху не більше 28°C у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, та деякими іншими показниками.

**2. Вибухопожежобезпечність (Б).** Характеризуються присутністю в них горючих пилів або волокон, легкозаймистих рідин з температурою спалаху понад 28°C та деякими іншими показниками.

**3. Пожежна небезпека (В1 – В4).** Характеризуються присутністю в них горючих та важкогорючих рідин, твердих горючих та важкогорючих речовин та матеріалів (у тому числі пилів та волокон) та деякими іншими показниками.

**4. Помірна пожежна небезпека (Г).** Характеризуються присутністю в них негорючих речовин та матеріалів у гарячому, розпеченому чи розплавленому стані.

**5. Знижена пожежна небезпека (Д).** Характеризуються присутністю в них негорючих речовин та матеріалів у холодному стані.

Методи визначення категорій приміщень А і Б, віднесення приміщень до категорій В1, В2, В3 або В4 встановлені Зведенням правил «Визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок із вибухопожежної та пожежної небезпеки» (СП 12.13130.2009) [21].

					<b>XI.T.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>



## Список літератури

1. Матеріал з Вікіпедії. Етанол [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BB>
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.

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

11. Лашинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лашинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
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. Пожежна профілактика при проектуванні та будівництві промислових підприємств [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/9122947/page:5/>
20. Пожежна профілактика при проектуванні та будівництві промислових підприємств. Вогнестійкість будівельних конструкцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/4520361/page:8/>
21. Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Юдина Е. Я., Белова С. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1983. – 432 с.

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