

**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"**

Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші ацетон – етанол. Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками.

Виконав:  
студент групи ХМ-61

Галета Денис Володимирович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка

№ 18510

Захищений с оцінкою:  
\_\_\_\_\_

Керівник  
Литвиненко А.В

\_\_\_\_\_  
підпис

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

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"

Курс 4    Група ХМ-61    Семестр 8

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

Студент Галета Денис Володимирович

1 Тема проекту: Ректифікаційна установка для розділення суміші ацетон – етанол. Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками.

2 Вихідні дані: Продуктивність вихідної суміші  $G_H = 4000$  кг/год. Склад продуктів по легко киплячому компоненту (% мольні): в вихідній смесі  $X_H = 22$  %, в дистилляті  $X_D = 93\%$ , в кубовій суміші  $X_K = 2,7$  %..

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

- 1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 1,0 арк.
- 2. Складальне креслення апарату – 2,0 арк.
- 3. Складальні креслення вузлів – 1,0 арк.

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

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1,2	2,3,4,5	7,8,9	10, 11,12,13	14
1 Вступна частина	xx				
2 Технологічна частина		xxx			
3 Проектно-конструкторська частина			xxx		
4 Розробка креслень				xxxx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

травень 2020р

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

Литвиненко А.В.

## Реферат

Пояснювальна записка: 55 с., 5 рис., 3 табл., 1 додаток, 13 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарату, складальне креслення вузла - всього 4,0 аркуша формату А1

Тема проекту: «Ректифікаційна установка для розділення суміші ацетон – етанол. Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками.

Наведено теоретичні основи і особливості процесу ректифікації, виконані розрахунки матеріального і теплового балансів процесу, виконані технологічні розрахунки апарату, визначені його розміри, гідравлічне опір, обґрунтований вибір матеріалів для виготовлення апарату.

Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроектованого апарату.

Наведено відомості щодо проведення монтажу і ремонту розробленого апарату.

У розділі «Охорона праці» наведено відповідальність власника за невиконання нормативних вимог охорони праці.

Ключові слова: АПАРАТ, УСТАНОВКА, АЦЕТОН, ЕТАНОЛ, РЕКТИФІКАЦІЯ, РОЗРАХУНОК..

## ЗМІСТ

Вступ	5
1. Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	7
1.3 Опис об'єкта розробки, вибір матеріалів	10
2. Технологічний розрахунок процесу і апарату	17
2.1 Визначення масових концентрацій	17
2.2 Матеріальний баланс процесу ректифікації	17
2.3 Визначення робочих параметрів процесу, рівняння робочих ліній процесу	18
2.4 Визначення фізико-хімічних властивостей компонентів бінарної суміші "ацетон-етанол"	19
2.5 Визначення швидкості пара і діаметра колони	22
2.6 Гідравлічний розрахунок тарілок	25
2.7 Вибір допоміжного обладнання	27
3. Розрахунки на міцність і герметичність	32
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки апарату	32
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання	34
3.3 Розрахунок і вибір опори	42
3.4 Розрахунок колони на вітрове навантаження	44
4. Організація монтажних та ремонтних робіт	46
4.1 Монтаж апарату	46
4.2 Ремонт апарату	52
5. Охорона праці	57
Список літератури	61
додатки	

					<b>ПОХНП. Р.00.00.00 ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Ректифікаційна колона</i>  <i>Пояснювальна записка</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Галета Д.В.</i>						
<i>Провер.</i>		<i>Литвиненко А.В.</i>					4	50
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, ХМ-61НГ</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>								

## ВСТУП

У хімічній промисловості здійснюються різноманітні процеси, в яких вихідні матеріали в результаті хімічної взаємодії зазнають глибокі зміни, що супроводжуються зміною агрегатного стану, внутрішньої структури і складу речовин.

Поряд з хімічними реакціями, які є основою хіміко-технологічних процесів, останні зазвичай включають численні фізичні та фізико-хімічні процеси.

До таких процесів відносяться: переміщенні рідин і твердих матеріалів, стиснення і транспортування газів, нагрівання та охолодження речовин, розділення рідких і газових, неоднорідних сумішей, випарювання розчинів, сушка матеріалів. При цьому спосіб проведення процесів часто визначає можливість здійснення, ефективність і рентабельність процесу в цілому. Таким чином, технологія виробництва найрізноманітніших хімічних продуктів і матеріалів включає ряд однотипних фізичних і фізико-хімічних процесів, що характеризуються загальними закономірностями.

До одним з основних процесів хімічної промисловості відноситься ректифікація, призначена для поділу сумішей різних по температурі кипіння рідин. Розділення рідких однорідних бінарних або багатокомпонентних розчинів і газових сумішей на індивідуальні практично чисті компоненти або їх фракції методами ректифікації широко застосовується як основний технологічний процес у багатьох виробництвах хімічної та нафтопереробної галузях промисловості. Крім того, ректифікація використовується в спиртової промисловості, в технологіях отримання рідкісних і розсіяних елементів, в установках поділу природного газу і повітря.

До числа основних апаратів відносяться тарілчасті і насадок колони. Процес безпосередньо відбувається на тарілках в тарілчастих колонах і в шарі насадки в насадок колонах.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Принципова технологічна схема безперервно діючої ректифікаційної установки представлена на рисунку 1.1.

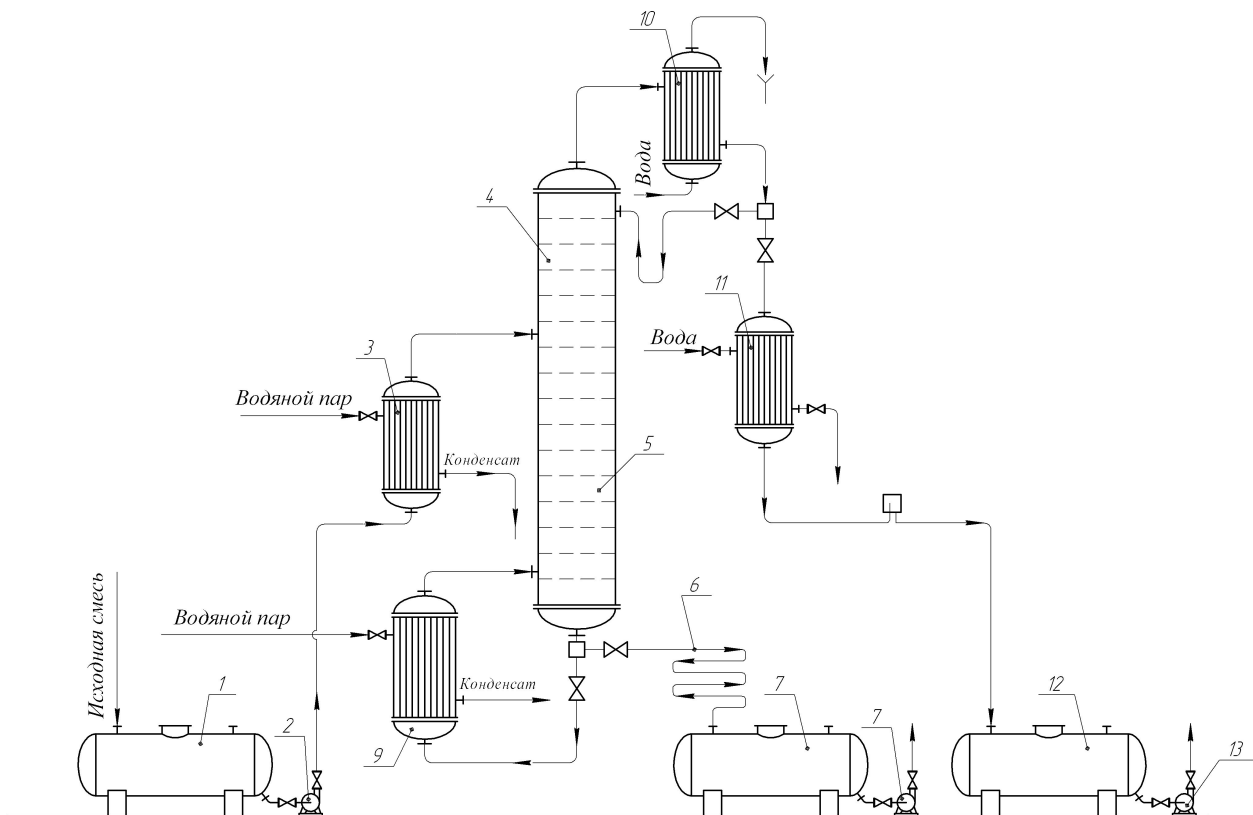


Рисунок 1.1. - Схема ректифікаційної установки безперервної дії:

1, 7, 12 - збірники-сховища; 2, 8, 13 - відцентрові насоси; 3 - підігрівач вихідної суміші; 4, 5 - верхня і нижня частини ректифікаційної колони; 6, 11 - холодильники; 9 - випарник; 10 - дефлегматор.

Вихідний розчин зі збірки-сховища 1 відцентровим насосом 2 подається в теплообмінник 3, де підігрівається до температури кипіння гріючою парою, що конденсується в міжтрубному просторі теплообмінника. Нагрітий розчин надходить в колону ректифікації, що складається з верхньої 4 - закріплюючої

						ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
							6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

частини і нижньої 5 - вичерпної частини. На тарілці склад рідини відповідає складу вихідної суміші. В результаті поділу суміші з нижньої частини колони відводиться кубовий залишок, який охолоджується водою в теплообміннику 6 і відводиться в збірник 7, звідки насосом 8 відкачується споживачеві. Частина кубового залишку відбирається з нижньої частини колони і спрямовується в кип'ятильник-випарник 9, в якому за рахунок тепла конденсації пари, що гріє, що подається в міжтрубний простір, відбувається кипіння кубової рідини і утворення пари ВКК,

Таким чином, в нижній частині колони ректифікації відбувається процес відгону НКК та стікає вниз вихідного розчину.

У верхній частині колони відбувається процес збагачення (зміцнення) піднімаючих парів НКК за рахунок багатоступінчастого контактування їх на тарілках та стікає зверху вниз флегмою. Пари відводяться з верхньої частини колони та надходять в дефлегматор 10, де конденсуються в міжтрубному просторі дефлегматора за рахунок відведення тепла хладогента - вода, що рухається в трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається і у вигляді флегми повертається в колону на її зрошення. Інша частина - дистилат - додатково охолоджується в холодильнику 11 і направляється в збірник 12 в якості готового продукту з високою концентрацією НКК.

## 1.2 Теоретичні основи процесу

Ректифікація - розділення рідких однорідних сумішей на складові речовини або групи складових речовин в результаті протivotочної взаємодії парової суміші та рідкої суміші.

Сутність процесу ректифікації зводиться до виділення з суміші двох або в загальному випадку декількох рідин з різними температурами кипіння однієї або кілька рідин в більш-менш чистому вигляді. Це досягається нагріванням і випаровуванням такої суміші з подальшим багаторазовим тепло- і масообмінном між рідкої і парової фазами, в результаті частина легколетучего компонента

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переходить з рідкої фази в парову, а частина менше летючого компонента - з парової фази в рідку.

Процес ректифікації здійснюють в ректифікаційній установці, що включає колону ректифікації, дефлегматор, холодильник-конденсатор, підігрівач вихідної суміші, збірники дистиляту і кубового залишку. Основним апаратом установки є колона ректифікації, в якій пари рідини піднімаються знизу, а назустріч парам зверху стікає рідина, що подається в верхню частину апарату у вигляді флегми. У більшості випадків кінцевими продуктами є дистилят (сконденсовані в дефлегматорі пари легколетучого компонента, що виходять з верхньої частини колони) і кубовий залишок (менш летючий компонент в рідкому вигляді, що випливає з нижньої частини колони).

На кожному ступені контакту (на тарілці або в шарі насадки певної висоти) відбувається конденсація парів, що надходять з нижніх тарілки, за рахунок тепла конденсації знаходиться на тарілці рідина закипає і виділяє пари, збагачені НКК і піднімаються на вище розміщених тарілку, збагачена ВКК рідина по переливній пристрою перетікає на нижче лежачу тарілку. Здійснюючи на тарілках багатоступінчастий тепло- і масообмінний протivotочний контакт між парами, що піднімаються від низу до верху по колоні, і стікає зверху вниз рідиною, реалізують процес поділу вихідної суміші на окремі практично чисті компоненти або фракції з близькими температурами кипіння компонентів.

Ефективність процесу поділу бінарної суміші в ректифікаційній колоні залежить від індивідуальних властивостей компонентів, від тиску парів в колоні, від типу контактної пристрою і інтенсивності взаємодії потоків парової і рідкої фаз на поверхні їх розділу.

Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення температури процесу і кількості відводиться теплоти, вибір швидкості газу, насадки (для насадок колон) і типу тарілок (для тарілчастих колон), розмірів і гідравлічного опору апаратів.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



При розрахунках ректифікаційних колон кількість і склад фаз зручно висловлювати в молярних величинах. Отже, можна вважати, що при конденсації з пари  $n$  кмольа труднолетучим компоненту випаровується з рідини  $n$  кмольа легколетучого компонента. Кількість фаз по всій висоті колони буде постійним. Прийmemo наступні допущення, мало спотворюють фактичні умови протікання процесу, але значно спрощують розрахунок:

- 1) склад пара, що виходить з колони в дефлегматор ( $y_d$ ), і склад флегми, що повертається в колону ( $x_D$ ), однакові, т. е.  $y_d = x_D$ ;
- 2) склад пари, що піднімається з кип'ятильника в колону ( $y_w$ ), дорівнює складу рідини в кубі-випарнику ( $x_w$ ), т. е.  $y_w = x_w$ ;

Матеріальний баланс колони ректифікації:

- по потокам:

$$G_f = G_d + G_w; \quad (1.1)$$

- по легколетучому компоненту:

$$G_f x_f = G_d x_d + G_w x_w; \quad (1.2)$$

де  $G_f$ ,  $G_d$ ,  $G_w$ , - масові і чи молярний витрати харчування, дистилляту і кубового залишку;

$x_f$ ,  $x_d$ ,  $x_w$ , - зміст легколетучого компонента в харчуванні, дистилляте, кубовому залишку, відповідно.

Тепловий баланс ректифікаційної колони.

Для колони безперервної дії з урахуванням втрат теплоти в навколишнє середовище маємо:

прихід теплоти:

з гріючою парою в кубі випарника  $Q_k$ ;

з вихідною сумішшю

$$Q_F = G_F I_F; \quad (1.3)$$

витрата теплоти:

з водою конденсуються в дефлегматорі пари  $Q_d$ ;

з дистилляту

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_D = G_D I_D; \quad (1.5)$$

з кубовим залишком

$$Q_W = G_W I_W; \quad ; (1.5)$$

втрати в навколишнє середовище  $Q_{\text{пот}}$ ;

де  $I_D, I_F, I_W$  - ентальпія дистилляту, вихідної суміші, кубового залишку.

Таким чином, рівняння теплового балансу:

$$Q_K + Q_F = Q_D + Q_D + Q_W + Q_{\text{ном}}; \quad (1.6)$$

Підставляючи замість  $Q$  їх значення вирішимо рівняння теплового балансу щодо

$Q_K$ :

$$Q_K = G_D(R+1)r_D + G_D I_D + G_W I_W - G_F I_F + Q_{\text{ном}}; \quad (1.7)$$

### 1.3 Опис об'єкта розробки, вибір матеріалів

Тарілчасті колони складають основну групу масообмінних апаратів. Вони являють собою вертикальний циліндр (суцільнозварний або складається з декількох царг, з'єднаних між собою наглухо або роз'ємними фланцями), по висоті якого розташовані спеціальні контактні пристрої - тарілки, що дозволяють створити тісний контакт між паром, що піднімається вгору по колоні, і рідиною, що стікає вниз.

До теперішнього часу не вироблено узагальнених і досить об'єктивних критеріїв вибору типу тарілок для ведення того чи іншого процесу. Істотну роль в цьому відіграють сформовані в організаціях-постачальниках традиції, що спираються на багаторічний досвід надійної експлуатації розробляється ними масообмінної апаратури.

Об'єкт проектування, ректифікаційна колона (рисунок 1.2), являє собою вертикальний апарат з циліндричним корпусом, що складається з окремих царг, які з'єднані між собою болтовими фланцевими сполуками, або виконаним суцільнозварним з приварним днищем, кришка і корпус роз'ємно з'єднані за допомогою фланцевого з'єднання.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Усередині царг горизонтально встановлені контактні пристрої у вигляді ковпачкових тарілок.

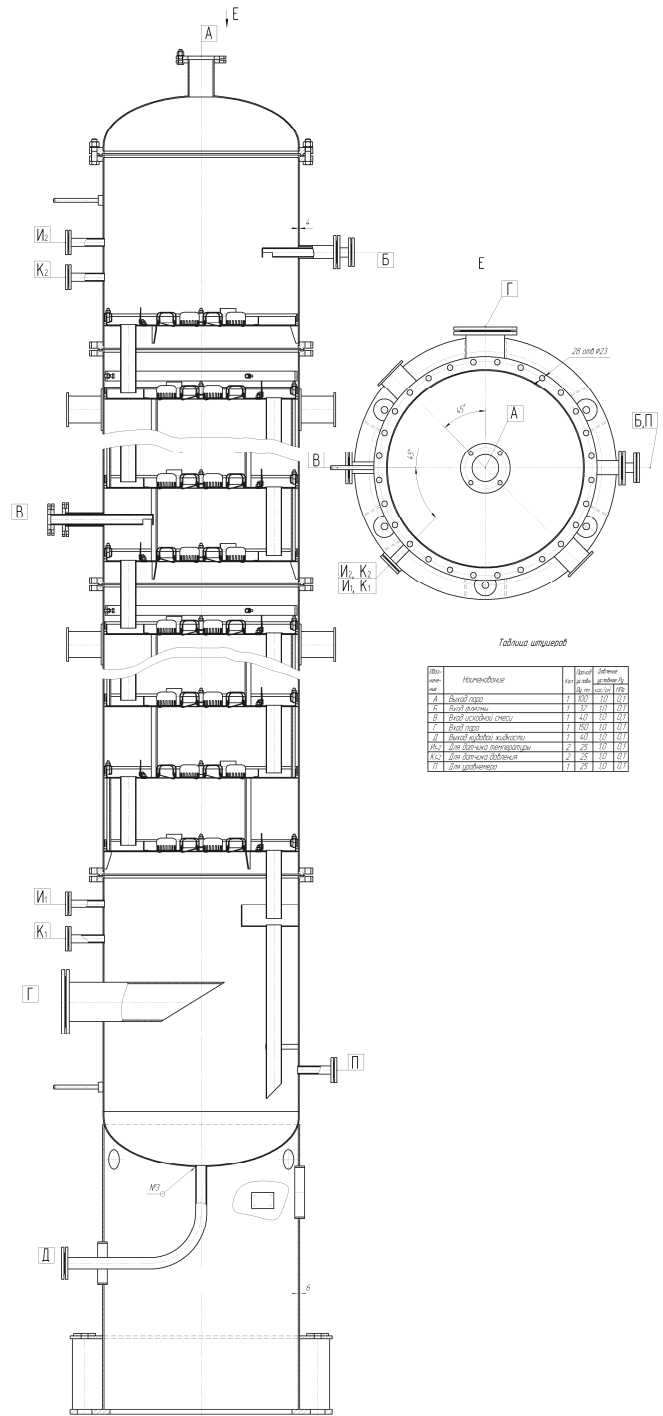


Рисунок 1.2- Ректифікаційна колона з ковпачковими тарілками

За допомогою тарілок створюється спрямований рух фаз і багаторазова взаємодія рідини і пара. Схема роботи тарілки зображена на рисунку 1.3.

Тиск і швидкість пара, що проходить через отвори тарілки, повинні бути достатнім для подолання тиску шару рідини на тарілці і створення опору її стікання через отвори. Тарілки необхідно встановлювати горизонтально для забезпечення проходження пари через всі отвори ковпачків, а також для стійкої роботи тарілки. Рідина перетікає з тарілки на тарілку через переточні канали, кінці яких занурені в рідину, що заповнює склянки нижчих тарілок, що утворюють гідрозатвор і перешкоджають проходу газу повз патрубків.

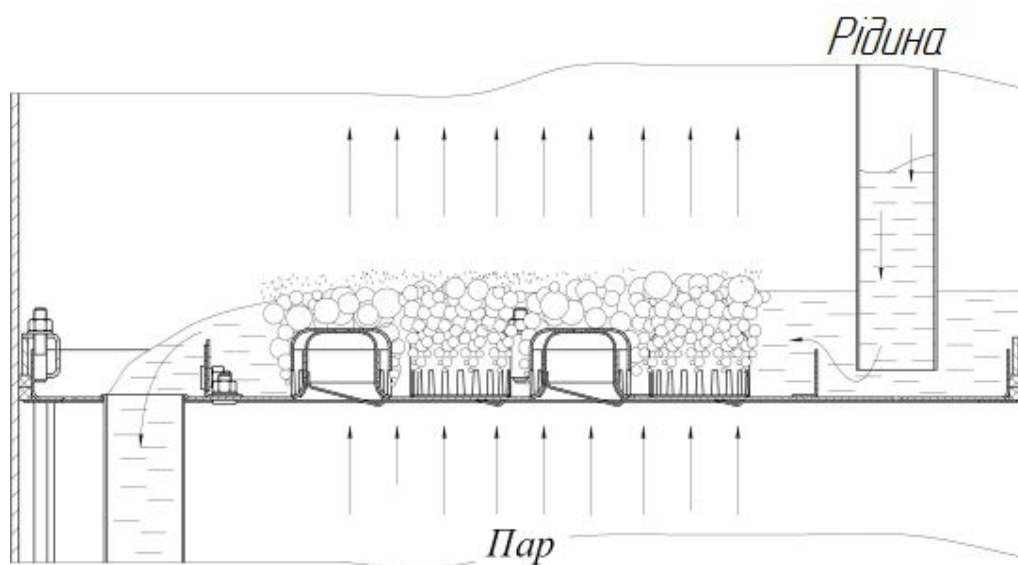


Рисунок 1.3. Схема роботи тарілки

На колоні передбачені наступні штуцера для об'язки апарату технологічними трубопроводами та підключення до технологічної лінії: введення сировини і виведення продуктів, для регулятора рівня в нижній частині колони, для термометра.

До корпусу колони знизу приварена опорна частина. В опорній частині є один лаз і отвори для виведення трубопроводу залишку. Для кріплення до фундаменту опорна частина забезпечена лапами у вигляді столиків, що складаються з верхнього опорного елемента і двох ребер.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У середню частину у вигляді пари, рідини або парорідинної суміші подається сировина, яку необхідно розділити на дві частини - висококиплячу і низькокиплячу.

Пари і рідина, що надходять на тарілку, не перебувають в стані рівноваги, однак, вступаючи в зіткнення, прагнуть до цього стану.

Вихідна суміш через штуцер У надходить в колону ректифікації на живильну тарілку. Через штуцер А з колони видаляється практично чистий ВК. Низькокиплячі компонент видаляється з колони через штуцер Д. Штуцер Б служить для подачі в колону флегми. Штуцер Г служить для подачі в колону пара.

Пар на тарілку надходить по патрубкам, розбиваючись потім прорізами ковпачка З на велике число окремих струменів. Прорізи ковпачків найбільш часто виконують у вигляді зубців трикутної або прямокутної форми. Далі пар проходить через шар рідини, що протікає по тарілці від одного зливного пристрою до іншого. При русі через шар значна частина дрібних струменів розпадається і пар розподіляється в рідині у вигляді бульбашок. Пар або газ проходить через патрубок і простір, обмежений ковпачком, барботують через шар рідини на тарілці і надходить в патрубки вищерозміщеної тарілки.

Інтенсивність утворення піни і бризок на ковпачкових тарілках залежить від швидкості руху пара і глибини занурення ковпачка в рідину. Рідина перетікає з тарілки на тарілку через переточні канали, кінці яких занурені в рідину, що заповнює склянки нижчих тарілок, що утворюють гідрозатвор і перешкоджають проходу газу повз патрубків.

Рідкий потік з вищерозміщеної тарілки надходить в зону більш високої температури, і тому з нього випаровується деяку кількість низькокиплячого компонента, в результаті чого концентрація останнього в рідині зменшується. З іншого боку, паровий потік, що надходить з нижчоложащої тарілки, потрапляє в зону нижчої температури і частина висококиплячого продукту з цього потоку конденсується, переходячи в рідину. Концентрація висококиплячого компонента в парах таким чином знижується, а низькокиплячого - підвищується.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Частина колони ректифікації, яка розташована вище введення сировини, називається концентраційної (зміцнює), а нижче - вичерпної.

На колоні передбачені штуцери для обв'язки апарату технологічними трубопроводами та підключення до технологічної лінії: введення сировини і виведення продуктів, для регулятора рівня в нижній частині колони, для термометра. Для забезпечення ефективної роботи колонного апарату необхідно також передбачити надійні розподільні пристрої, за допомогою яких в апарат вводяться потоки рідини і пара, а також пристрої для виведення цих потоків з апарату.

При конструюванні хімічної апаратури до конструкційних матеріалів пред'являються наступні основні вимоги:

- достатня загальна хімічна і корозійна стійкість матеріалів в агресивному середовищі з заданими концентрацією, температурою і тиском;
- достатня механічна міцність при заданих тиску і температурі технологічного процесу;
- найкраща здатність матеріалу зварюватись із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань і корозійної стійкості їх в агресивному середовищі.

Згідно з рекомендаціями [1, с 328] для даної бінарної суміші із заданими концентраційними і температурними характеристиками запропоновані наступні марки сталей, стійких в даному середовищі і рекомендованих при конструюванні хімічної апаратури: ОХ13, 1Х13, Х17, ОХ17Т, 10Х18Н9ТЛ, 12Х18Н10Т.

Розглянувши якісні та експлуатаційні характеристики запропонованих марок сталей, їх механо-технологічні властивості і загальну оцінку корозійної стійкості [1, с. 68-79], вибираємо сталь 12Х18Н10Т. Дана марка стали застосовна для виготовлення основних вузлів проектного апарату [1, с.24-29, табл.2.1], [2, с.26027, табл.3.2].

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим показником при виборі конструкційного матеріалу є його економічна характеристика. Сталь 12Х18Н10Т є менш дорогою, крім того, вона менш дефіцитна.

Остаточо приймаємо для виготовлення апарату сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5949-75.

Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72. Замінники: Сталь 08Х18Г8Н2Т, Сталь 10Х14Г14Н4Т, Сталь 12Х18Н9Т, Сталь 12Х17Г9АН4.

Призначення: зварні апарати і посудини, що працюють в розведених розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот.

Тільки правильний вибір і точний розрахунок всіх елементів колони з урахуванням умов, що накладаються особливостями технологічного процесу, дозволяють створити надійно працюючу конструкцію.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

### 2.1 Визначення масових концентрацій

Розрахунок ведеться згідно з методикою, наведеною в [3].

Позначимо масову витрату через  $G_D$ , кубовий залишок  $G_W$ . Висловимо концентрації, дистилляті і кубового залишку в масових частках:

$$\bar{x}_F = \frac{x_F \cdot M_A}{x_F \cdot M_A + (1 - x_F) M_E}, \quad (2.1)$$

$$\bar{x}_F = \frac{0,22 \cdot 58}{0,22 \cdot 58 + (1 - 0,22) \cdot 46} = 0,274,$$

$$\bar{x}_D = \frac{x_D \cdot M_A}{x_D \cdot M_A + (1 - x_D) \cdot M_E}, \quad (2.2)$$

$$\bar{x}_D = \frac{0,93 \cdot 58}{0,93 \cdot 58 + (1 - 0,93) \cdot 46} = 0,935,$$

$$\bar{x}_W = \frac{x_W \cdot M_A}{x_W \cdot M_A + (1 - x_W) \cdot M_E}, \quad (2.3)$$

$$\bar{x}_W = \frac{0,027 \cdot 58}{0,027 \cdot 58 + (1 - 0,027) \cdot 46} = 0,034,$$

де  $M_A = 58$  кг / кмоль і  $M_E = 46$  кг / кмоль - молярні маси ацетону та етанолу відповідно.

### 2.2 Матеріальний баланс процесу ректифікації

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



З рівнянь матеріального балансу визначимо масові витрати дистилляту і кубового залишку

$$G_D = G_F \cdot \frac{\bar{X}_F - \bar{X}_W}{\bar{X}_D - \bar{X}_W}, \quad (2.4)$$

$$G_D = 4000 \cdot \frac{0,274 - 0,034}{0,935 - 0,034} = 1119 \text{ кг/ч},$$

$$G_W = G_F \cdot \frac{\bar{X}_D - \bar{X}_F}{\bar{X}_D - \bar{X}_W}, \quad (2.5)$$

$$G_W = 4000 \cdot \frac{0,935 - 0,274}{0,935 - 0,034} = 3081 \text{ кг/ч}.$$

секундні витрати

$$G_D = \frac{1119}{3600} = 0,31 \text{ кг/с},$$

$$G_W = \frac{3081}{3600} = 0,86 \text{ кг/с},$$

$$G_F = \frac{4000}{3600} = 1,17 \text{ кг/с}.$$

### 2.3 Визначення робочих параметрів процесу. Рівняння робочих ліній процесу

З [4, с. 49, табл. А.5] маємо рівноважні склади рідини (x) і пара (y) в мольних%, і температури кипіння (t) в °С суміші ацетон - етанол при атмосферному тиску, які заносимо в таблицю 2.1

Таблиця 2.1

x	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y	0	15,5	26,2	41,7	52,4	60,5	67,4	73,9	80,2	86,5	92,9	100
t	78,3	75,4	73	69	65,9	63,6	61,8	60,4	59,1	58	57	56,1

За даними таблиці 2.1 будемо криву рівноваги суміші ацетон - етанол. Відносно молярна витрата живлення

$$F = \frac{X_D - X_W}{X_F - X_W}. \quad (2.6)$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ							Арк.
												17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

$$F = \frac{0,93 - 0,027}{0,22 - 0,027} = 4,4.$$

Визначимо мінімальне число флегми

$$R_{\text{мин}} = \frac{x_D - y_F}{y_F - x_F}, \quad (2.7)$$

$$R_{\text{мин}} = \frac{0,93 - 0,472}{0,472 - 0,22} = 1,85,$$

де  $y_F = 0,472$  - молярна частка бензолу в парі, рівноважному з рідиною живлення, визначається по діаграмі у-х.

Робоча число флегми

$$R = 1,3 \cdot R_{\text{мин}} + 0,3. \quad (2.8)$$

$$R = 1,3 \cdot 1,85 + 0,3 = 2,7$$

Рівняння робочих ліній:  
верхньої частини колони

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.9)$$

$$y = \frac{2,7}{2,7+1} \cdot x + \frac{0,93}{2,7+1} = 0,73 \cdot x + 0,249;$$

нижній частині колони

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W. \quad (2.10)$$

$$y = \frac{2,7+4,4}{2,7+1} \cdot x - \frac{4,4-1}{2,7+1} \cdot 0,027 = 1,9 \cdot x - 0,025.$$

#### 2.4 Визначення фізико-хімічних властивостей компонентів бінарної суміші "ацетон-етанол"

Наносимо на діаграму стану робочих ліній. Відклавши на осі ординат 0,233 (23,3%), наносимо робочу лінію АВ для верхньої частини колони. Через точки А і С проводимо робочу лінію для нижньої частини колони.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середні концентрації рідини:  
в нижній частині колони

$$x_{\text{ср.н}} = \frac{x_F + x_W}{2} = \frac{0,22 + 0,027}{2} = 0,13;$$

у верхній частині колони

$$x_{\text{ср.в}} = \frac{x_D + x_F}{2} = \frac{0,93 + 0,22}{2} = 0,575.$$

Середні концентрації пара по рівняннях робочих ліній:  
у верхній частині колони

$$\begin{aligned} y_{\text{ср.в}} &= 0,73 \cdot x_{\text{ср.в}} + 0,249; & (2.11) \\ y_{\text{ср.в}} &= 0,73 \cdot 0,575 + 0,249 = 0,67 \end{aligned}$$

в нижній частині колони

$$y_{\text{ср.н}} = 1,777 \cdot x_{\text{ср.н}} - 0,023 \quad (2.12)$$

$$y_{\text{ср.н}} = 1,9 \cdot 0,13 - 0,025 = 0,222.$$

Середні температури пара знаходимо з таблиці 2.1 (див. Вище) методом інтерполяції:

$$\begin{aligned} \text{при } y_{\text{ср.в}} = 0,67 \quad t_{\text{ср.в}} &= 61,7 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ \text{при } y_{\text{ср.н}} = 0,222 \quad t_{\text{ср.н}} &= 74,1 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Середні молярний маси щільності пара:  
у верхній частині колони

$$M_{\text{ср.в}} = y_{\text{ср.в}} \cdot M_A + (1 - y_{\text{ср.в}}) \cdot M_{\text{Э}} , \quad (2.15)$$

$$M_{\text{ср.в}} = 0,67 \cdot 58 + 0,33 \cdot 46 = 54,16 \text{ кг/кмоль},$$

$$\rho_{\text{ср.в}} = \frac{M_{\text{ср.в}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{\text{ср.в}}}; \quad (2.16)$$

$$\rho_{\text{ср.в}} = \frac{54,16 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 61,7)} = 1,97 \text{ кг/м}^3;$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В НИЖНІЙ ЧАСТИНІ КОЛОНИ

$$M_{\text{ср.н}} = y_{\text{ср.н}} \cdot M_A + (1 - y_{\text{ср.н}}) \cdot M_{\text{Э}}, \quad (2.17)$$

$$M_{\text{ср.н}} = 0,222 \cdot 58 + 0,778 \cdot 46 = 48,71 \text{ кг/кмоль},$$

$$\rho_{\text{ср.н}} = \frac{M_{\text{ср.н}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{\text{ср.н}}}; \quad (2.18)$$

$$\rho_{\text{ср.н}} = \frac{48,71 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 74,1)} = 1,71 \text{ кг/м}^3;$$

Температура зверху колони при  $x_D = 0,92$  дорівнює  $60,4 \text{ }^\circ\text{C}$ , а в кубі-випарника при  $x_W = 0,027$  дорівнює  $76,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Щільність ацетону при  $60,4 \text{ }^\circ\text{C}$   $\rho_A = 750 \text{ кг/м}^3$ , етанолу при  $76,7 \text{ }^\circ\text{C}$   $\rho_E = 738 \text{ кг/м}^3$  (4, с. 49, табл. А.5).

Мольна маса вихідної суміші і дистилляту

$$M_F = M_A \cdot x_F + M_{\text{Э}} \cdot (1 - x_F), \quad (2.19)$$

$$M_F = 58 \cdot 0,22 + 46 \cdot 0,77 = 49 \text{ кг/кмоль},$$

$$M_D = M_A \cdot x_D + M_{\text{Э}} \cdot (1 - x_D), \quad (2.20)$$

$$M_D = 58 \cdot 0,93 + 46 \cdot 0,08 = 57 \text{ кг/кмоль}.$$

В'язкість рідких шарів  $\mu_x$  знаходимо за формулою (4, табл.11)

$$\lg \mu_x = x_{\text{ср}} \cdot \lg \mu_A + (1 - x_{\text{ср}}) \cdot \lg \mu_{\text{Э}}, \quad (2.21)$$

де  $\mu_B$  і  $\mu_E$  - в'язкість ацетону та етанолу при температурі суміші.

$$\mu_{A,B} = 0,234 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{Э},B} = 0,605 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{A,H} = 0,207 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{\text{Э},H} = 0,509 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Тоді відповідно в'язкість рідини у верхній і нижній частині колони

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lg \mu_{x.B} = x_{cp.B} \cdot \lg \mu_{A.B} + (1 - x_{cp.B}) \cdot \lg \mu_{Э.В}, \quad (2.22)$$

$$\lg \mu_{x.г} = 0,575 \cdot \lg 0,234 \cdot 10^{-3} + 0,425 \cdot \lg 0,605 \cdot 10^{-3},$$

звідки

$$\begin{aligned} \mu_{x.B} &= 0,411 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}; \\ \lg \mu_{x.H} &= x_{cp.H} \cdot \lg \mu_{A.H} + (1 - x_{cp.H}) \cdot \lg \mu_{Э.H}, \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\lg \mu_{x.H} = 0,13 \cdot \lg 0,207 \cdot 10^{-3} + 0,87 \cdot \lg 0,509 \cdot 10^{-3},$$

звідки

$$\mu_{x.H} = 0,422 \cdot 10^{-3} \text{ па}\cdot\text{с}.$$

## 2.5 Визначення швидкості пара і діаметра колони

Приймаємо відстань між тарілками  $h = 400$  мм. Значення коефіцієнта  $C$ , залежить від конструкції тарілок, відстані між тарілками.

$$C = 0,044.$$

Швидкість пара:  
зверху колони

$$\omega_B = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_{п}}{\rho_{п}}}; \quad (2.24)$$

$$\omega_B = 0,044 \cdot \sqrt{\frac{750 - 1,97}{1,97}} = 0,86 \text{ м/с};$$

знизу колони

$$\omega_H = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_{п}}{\rho_{п}}}, \quad (2.25)$$

$$\omega_H = 0,044 \cdot \sqrt{\frac{738 - 1,71}{1,71}} = 0,91 \text{ м/с}.$$

Середній масовий потік в колоні

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_B = G_D \cdot (R + 1) \cdot \frac{M_{cp.B}}{M_D}; \quad (2.26)$$

$$G_g = 0,31 \cdot (2,7 + 1) \cdot \frac{54,16}{57} = 1,22 \text{ кг/с};$$

$$G_H = G_D \cdot (R + 1) \cdot \frac{M_{cp.H}}{M_D}, \quad (2.27)$$

$$G_H = 0,31 \cdot (2,7 + 1) \cdot \frac{48,71}{57} = 1,1 \text{ кг/с}.$$

Діаметр колони ректифікації визначаємо з рівняння витрати (5, с. 51, табл. А.7)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}}. \quad (2.28)$$

Тоді діаметр верхньої і нижньої частини колони відповідно дорівнює

$$D_g = \sqrt{\frac{4 \cdot G_g}{\pi \cdot \omega_g \cdot \rho_{cp.g}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,22}{3,14 \cdot 0,86 \cdot 1,97}} = 0,958 \text{ м};$$

$$D_H = \sqrt{\frac{4 \cdot G_H}{\pi \cdot \omega_H \cdot \rho_{cp.H}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,1}{3,14 \cdot 0,91 \cdot 1,71}} = 0,949 \text{ м};$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони, однакове для верхньої і нижньої частини  $D = 1000$  мм. При цьому дійсні робочі швидкості пари в колоні будуть рівні

$$\omega_g = 0,86 \cdot \left(\frac{0,958}{1,0}\right)^2 = 0,79 \text{ м/с};$$

$$\omega_H = 0,91 \cdot \left(\frac{0,949}{1,0}\right)^2 = 0,82 \text{ м/с}.$$

Наносимо на діаграму у-х робочі лінії верхньої і нижньої частини колони і знаходимо число ступенів зміни концентрації пт. У верхній частині колони  $n_T \approx 11$ , в нижній частині  $n_H \approx 4$ , всього 15 ступенів зміни концентрації.

Число тарілок розраховуємо за рівнянням (2, 7.19)

					<i>ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{n_r}{\eta}. \quad (2.29)$$

Для визначення середнього ККД тарілок  $\eta$  знаходимо коефіцієнт відносної летючості поділюваних компонентів  $\alpha = P_6 / P_y$  і динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші  $\mu$  при середній температурі в колоні  $66,7^\circ\text{C}$ .

При цій температурі тиск насиченої пари ацетону  $P_A = 1081$  мм рт.ст. етанолу  $P_E = 480$  мм рт. ст.

$$\alpha = \frac{1081}{480} = 2,25.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості ацетону при  $66,7^\circ\text{C}$  дорівнює  $\mu_A = 0,226 \cdot 10^{-3}$  па·с, етанолу,  $\mu_E = 0,539 \cdot 10^{-3}$  па·с.

Динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші

$$\ln \mu_F = x_F \cdot \ln \mu_A + (1 - x_F) \cdot \ln \mu_E, \quad (2.30)$$

т. е.

$$\lg \mu_F = 0,25 \cdot \lg(0,226 \cdot 10^{-3}) + 0,75 \cdot \lg(0,539 \cdot 10^{-3})$$

звідки

$$\mu_F = 0,441 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с} = 0,441 \text{ мПа}\cdot\text{с}.$$

тоді

$$\alpha \cdot \mu_F = 2,25 \cdot 0,441 = 0,992.$$

За графіком (2, рис. 7.4) знаходимо  $\eta = 0,48$ .

Довжина шляху рідини н тарілці (3, табл. 86)  $L_{ж} = 0,59$  м.

За графіком (2, рис. 7.5) знаходимо значення поправки на довжину шляху  $\Delta = 0$ .

Середній ККД тарілок

$$\eta_l = \eta \cdot (1 + \Delta) = 0,48 \cdot (1 + 0) = 0,48.$$

Тоді число тарілок:  
у верхній частині колони

$$n'_B = \frac{n_B}{\eta} = \frac{11}{0,48} = 23;$$

в нижній частині колони

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n'_H = \frac{n_H}{\eta} = \frac{4}{0,48} = 9.$$

Загальні число тарілок  $n = 32$ , з запасом  $n = 36$ , з них у верхній частині колони  $n_B = 25$  і в нижній частині  $n_H = 11$ .

Висота тарілчастій частини колони

$$H_T = (n - 1) \cdot h = (36 - 1) \cdot 0,4 = 14 \text{ м.}$$

## 2.6 Гідравлічний опір апарату

За даними табл. 8.6 [3] вибираємо тарілку типу ТСК-Р для колони діаметром  $D = 1000$  мм. Ця тарілка має наступні параметри: периметр зливу  $\Pi = 0,665$  м; площа зливу  $F_{\text{сл}} = 0,064$  м<sup>2</sup>; площа проходу пара  $F_0 = 0,09$  м<sup>2</sup>; довжина шляху рідини на тарілці  $L_{\text{ж}} = 0,722$  м; зазор під зливним склянкою  $a = 0,06$  м; кількість ковпачків  $m = 37$ , діаметр ковпачків  $d_k = 80$  мм.

Висоту підпору рідини під зливним порогом за рівнянням [3, 8.6] розрахуємо попередньо без урахування упору рідини. тоді

$$G_{\text{ж}} = \frac{L_H}{\rho_H}; \quad (2.33)$$

$$G_{\text{ж}} = \frac{2,66}{927} = 0,0029 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$h_{\text{сл}} = 0,68 \cdot \left( \frac{G_{\text{ж}}}{\Pi} \right)^{0,67}; \quad (2.34)$$

$$h_{\text{сл}} = 0,68 \cdot \left( \frac{0,0029}{0,665} \right)^{0,67} = 0,019 \text{ м.}$$

Для визначення висоти зливного порога розрахуємо за рівнянням [3, 8.11] висоту прорізів в ковпачках.

Приймаємо ковпачок з прямокутними прорізами шириною  $b = 4$  мм. Кількість прорізів в одному ковпачку  $Z_{\text{п}} = 20$ . Загальна кількість ковпачків на тарілці  $m = 37$ .

При цих даних по [3, 8.11] отримаємо

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$h_{\text{пр}} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_{\text{п}}}{m \cdot z \cdot b}\right)^2 \cdot \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}}}, \quad (2.35)$$

$$h_{\text{пр}} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,867}{37 \cdot 20 \cdot 0,004}\right)^2 \cdot \frac{2,01}{927 - 2,01}} = 0,026 \text{ м.}$$

Приймаємо по таблиці 8.4 [3] висоту прорізу  $h_{\text{пр}} = 20$  мм.

В цьому випадку пар буде проходити через повністю відкриті прорізи і частково через нижню кромку ковпачка. Для забезпечення цього приймемо висоту установки ковпачка  $H_y = 5$  мм.

Глибина барботажа при робочому тиску складе

$$h_{\text{г}} = \left(\frac{0,7}{\rho_{\text{ж}}}\right) \cdot p^{0,35}, \quad (2.36)$$

$$h_{\text{г}} = \left(\frac{0,7}{927}\right) \cdot 98100^{0,35} = 0,053 \text{ м.}$$

Висота зливного порога (3, 8.8)

$$h_{\text{пор}} = h_{\text{г}} - h_{\text{сл}} + h_{\text{пр}} + h_y, \quad (2.37)$$

$$h_{\text{пор}} = 53 - 19 + 20 + 5 = 59 \text{ мм.}$$

Висота піни, що утворюється на тарілці

$$h_{\text{пш}} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} \cdot (k_3 \cdot \omega^2 \cdot \rho_{\text{п}} + k_4 \cdot h_{\text{сл}} + h_{\text{пор}}), \quad (2.38)$$

$$h_{\text{пш}} = \frac{0,23}{(19,6 \cdot 10^{-3})^{0,33}} \cdot (4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,965^2 \cdot 1,71 + 4,6 \cdot 0,019 + 0,059) = 0,182 \text{ м,}$$

де значення коефіцієнтів  $k_1, k_2, k_3, k_4$ , а також показника ступеня  $n_1$  обрані по табл. 8.3 [3].

Величина відносного виносу рідини відповідно до рівняння 8.4 [3]

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y = \frac{k_1}{\sigma} \cdot \left( \frac{\omega}{H_T - h_{\text{III}}} \right)^{1,16}, \quad (2.39)$$

$$y = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{19,6 \cdot 10^{-3}} \cdot \left( \frac{0,965}{0,4 - 0,182} \right)^{1,16} = 0,066 < 0,296,$$

де значення комплексу

$$\frac{L_H}{G_D} \cdot \frac{\sqrt{\rho_{\text{II}}}}{\sqrt{\rho_{\text{ж}}}}, \quad (2.40)$$

$$\frac{2,66}{0,35} \cdot \sqrt{\frac{2,01}{927}} = 0,296.$$

Отже, відстань між тарілками вибрано правильно.

Дійсну навантаження зливної пристрою по рідини розраховуємо за рівнянням 8.7 [3]

$$V_{\text{жд}} = G_{\text{ж}} + \frac{V_{\text{II}} \cdot Y}{\rho_{\text{ж}}}, \quad (2.41)$$

$$V_{\text{жд}} = 0,0029 + \frac{0,867 \cdot 0,066}{927} = 0,00297 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Дійсна величина підпору рідини над зливним порогом

$$h_{\text{сII}} = 0,68 \cdot \left( \frac{V_{\text{жд}}}{\Pi} \right)^{0,67}, \quad (2.42)$$

$$h_{\text{сII}} = 0,68 \cdot \left( \frac{0,00297}{0,665} \right)^{0,67} = 0,019 \text{ м}.$$

Опір сухої тарілки

$$\Delta p_{\text{сух}} = \zeta_c \cdot \rho_{\text{II}} \cdot \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (2.43)$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta p_{\text{сyx}} = 3,25 \cdot 2,01 \cdot \frac{9,63^2}{2} = 198 \text{ Па,}$$

де швидкість пара в парових патрубках дорівнює

$$\omega_0 = \frac{V_{\text{п}}}{F_0}, \quad (2.44)$$

$$\omega_0 = \frac{0,867}{0,09} = 9,63 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт опору для ковпачка діаметром  $D_{\text{кл}} = 80$  мм складе

$$\zeta = 1,73 \cdot D_{\text{кл}}^{-0,25}, \quad (2.45)$$

$$\zeta = 1,73 \cdot 0,08^{-0,25} = 3,25.$$

Величина перепаду рівня рідини на тарілці

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_{\text{в}} \cdot \frac{l_{\text{ж}} \cdot V_{\text{ж}}^2}{\Pi^2 \cdot (h_{\text{пор}} + h_{\text{сл}})^3 \cdot g}, \quad (2.46)$$

$$\Delta h = 0,1 \cdot 16 \cdot \frac{0,722 \cdot 0,00297^2}{0,665^2 \cdot (0,059 + 0,019)^3 \cdot 9,81} = 0,008 \text{ м.}$$

Опір шару рідини на тарілці

$$\Delta p_{\text{ж}} = \left( h_{\Gamma} + \frac{h_{\text{пр}} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot g, \quad (2.47)$$

$$\Delta p_{\text{ж}} = \left( 0,053 + \frac{0,024 + 0,008}{2} \right) \cdot 927 \cdot 9,81 = 500 \text{ Па.}$$

Загальний опір тарілки

$$\Delta p_{\text{T}} = \Delta p_{\text{сyx}} + \Delta p_{\text{ж}} = 198 + 500 = 698 \text{ Па.}$$

опір колони

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta p = n_T \cdot \Delta p_T = 698 \cdot 14 = 9772 \text{ Па.}$$

## 2.7 Вибір допоміжного обладнання

Виконаємо розрахунок відцентрового насоса для подачі кубового залишку в напірну ємність колони

Витрата кубового залишку

$$V = \frac{G_w}{\rho} \quad (2.48)$$

де  $\rho$  - щільність етанолу, кг / м<sup>3</sup>

$$V = \frac{0,86}{758} = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

в кубі під надлишковим тиском. Геометрична висота підйому 6 м. Довжина трубопроводу на лінії всмоктування 3 м, на лінії нагнітання 10 м. На лінії всмоктування встановлений один вентиль, на лінії нагнітання - один вентиль і дросельна заслінка, мається також два коліна під кутом 90°. Прийmemo швидкість води у всмоктуючому і нагнітальному трубопроводах однаковою, рівною 1 м/с. Тоді діаметр трубопроводу

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}}, \quad (2.64)$$

где  $\omega$  - швидкість етанолу, м/с;

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00011}{3,14 \cdot 1}} = 0,017 \text{ м.}$$

Приймаємо трубопровід зі сталі марки 08X18H10T, діаметром  $21 \times 2$  мм.

Визначаємо величину критерію Re

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 0,017 \cdot 758}{0,395 \cdot 10^{-3}} = 37185,$$

режим руху турбулентний.

Приймаємо абсолютну шорсткість стінок труб,  $e = 0,2$  мм [2], ступінь шорсткості

$$\frac{d}{e} = \frac{10}{0,2} = 50.$$

За рис 1.5 [2, с. 22] знаходимо значення коефіцієнта тертя

$$\lambda = 0,0305$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів [4, с.26]:

для всмоктуючої лінії

- вхід в трубу  $\varepsilon = 0,5;$
- вентиль для  $d = 0,017$  мм  $\varepsilon = 6,7.$

$$\Sigma \varepsilon_{\text{вс}} = 0,5 + 6,7 = 7,2;$$

для нагнітальної лінії

- вихід з труби  $\varepsilon = 1,0;$
- нормальний вентиль  $\varepsilon = 6,7;$
- дросельна заслонка  $\varepsilon = 0,9;$
- коліно під кутом  $90^\circ$   $\varepsilon = 1,6.$

отже,

$$\Sigma \varepsilon_{\text{н}} = 1 + 6,7 + 0,9 + 2 \cdot 1,6 = 11,8.$$

Визначаємо втрати напору:

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у всмоктувальній лінії

$$h_{\text{вс}} = \left( 0,0305 \cdot \frac{3}{0,01} + 11,8 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 1,18 \text{ м.}$$

нагнітальної лінії

$$h_{\text{н}} = \left( 0,0305 \cdot \frac{10}{0,01} + 11,8 \right) \cdot \frac{1^2}{2 \cdot 9,81} = 2,53 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору

$$h_{\text{п}} = 1,18 + 2,53 = 3,71 \text{ м.}$$

Визначаємо повний напір [2]

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} + H_{\text{г}} + h_{\text{п}} \quad (2.65)$$

де  $\Delta p$  – надлишковий тиск, Па;  $H_{\text{г}}$  - геометричний напір;

$$H = \frac{0,025 \cdot 10^6}{864 \cdot 9,81} + 6 + 3,71 = 12,66 \text{ м.}$$

Корисна потужність насоса

$$N_{\text{п}} = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot V}{1000} \quad (2.66)$$

де  $V$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с;

$$N_{\text{п}} = \frac{758 \cdot 9,81 \cdot 16 \cdot 0,00011}{1000} = 0,25 \text{ кВт.}$$

Потужність на валу двигуна

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{п}}} \quad (2.67)$$

де  $\eta_{\text{н}}$  – к.п.д. насоса;  $\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачі;

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{дв}} = \frac{0,25}{0,7 \cdot 1,0} = 0,37 \text{ кВт.}$$

Установча потужність двигуна з урахуванням пускових моментів

$$N_{\text{уст}} = \frac{1,2 \cdot N_{\text{дв}}}{\eta_{\text{дв}}} = \frac{1,2 \cdot 0,37}{0,85} = 0,52 \text{ кВт.}$$

Встановлюємо при  $V = 0,86 \text{ м}^3/\text{ч}$  відцентровий насос марки ХМ 2/25 з наступною характеристикою: продуктивність  $2 \text{ м}^3/\text{год}$ , напір  $25 \text{ м}$ .

### 3 Розрахунки апарату на міцність і герметичність

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних швів  $\phi = 0,9$  (ручна дугова електрозварювання), напруга для сталі 12Х18Н10Т при  $t = 78^\circ\text{C}$

$$\sigma = 150 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 150 = 150 \text{ МПа}$$

Так як апарат працює при атмосферному тиску, то розрахунок товщини стінки здійснюємо по тиску гідравлічних випробувань.

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma_{\text{п}}]}{[\sigma]} \quad (3.1)$$

де  $[\sigma]$  - допустиме напруження гідравлічних випробувань;  $p$  - тиск в апараті.

$$[\sigma_{\text{п}}] = \frac{\sigma_{\text{т}}}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа.}$$

тоді

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{218}{150} = 0,18 \text{ МПа.}$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тиск в апараті від гідростатичного напору

$$p_r = H \cdot \rho \cdot g \quad (3.2)$$

де  $H$  - висота колони з урахуванням сепарації простору, м;

$$p_r = 18 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 196,2 \cdot 10^3 \text{ Па} = 0,2 \text{ МПа.}$$

Розрахунковий тиск в апараті

$$p = p_n + p_r = 0,18 + 0,2 = 0,38 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_n] - p} \quad (3.3)$$

де  $D$  - діаметр апарату, мм.

$$s_p = \frac{0,38 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,38} = 1,0 \quad \text{мм}$$

Приймаємо надбавку до розрахункової товщині за весь термін служби апарату (10 років)

$$c = 0,03 \cdot 10 = 0,3 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки

$$s = s_p + c \quad (3.4)$$

$$s = 1,0 + 0,3 = 1,3 \text{ мм.}$$

З урахуванням напружень стиску від маси колони приймаємо товщину стінки, мінімальну для  $D = 1000$  [4, с.113]

$$s = 8 \text{ мм.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки при проведенні гідравлічних випробувань

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$s_p = \frac{p_{II} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_{II}] - 0,5 p_{II}} \quad (3.5)$$

$$s_p = \frac{0,38 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,5 \cdot 0,38} = 1,0 \text{ мм}$$

виконавча товщина

$$s = 1,0 + 0,3 = 1,3 \text{ мм.}$$

З метою уніфікації сортаменту листового прокату приймаємо  $s = 8 \text{ мм}$ .

### 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки і корпусу апарату при  $D_{вн} = 1000 \text{ мм}$  і  $p = 0,38 \text{ МПа}$  вибирається по ОСТ 26-426-79 з плоскими приварними фланцями і ущільнювальною поверхнею типу «шип - паз».

Товщина втулки фланця [6]

$$s_0 \leq 1,35 \cdot s,$$

де  $s = 8 \text{ мм}$  - товщина обичайки апарату.

$$s_0 = 1,35 \cdot 6 = 7,5 \text{ мм,}$$

приймаємо  $s_0 = 8 \text{ мм}$ .

Перевіряємо виконання умови

$$s_0 - s \leq 5$$

$$8 - 6 = 2 \leq 5 - \text{умови виконуються.}$$

Визначимо діаметр болтової окружності. З [8] с.263

$$D_6 = D_{вн} + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_6 + u), \quad (3.6)$$

де  $d_6 = 20 \text{ мм}$  - діаметр болтів при  $D_{вн} = 1000 \text{ мм}$  і  $p = 0,32 \text{ МПа}$  (табл. 1.40 [8]);  $u = 6 \text{ мм}$  - нормативний зазор між гайкою і втулкою ( $u = 4 \div 6$ , табл.9 [8]).

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_{\bar{6}} = 1,0 + 2 \cdot (2 \cdot 0,008 + 0,020 + 0,006) = 1,084 \text{ м,}$$

приймаємо  $D_{\bar{6}} = 1,1$  м. (див. с.263 [8]).

За [8] с.264 зовнішній діаметр фланця

$$D_{\phi} \geq D_{\bar{6}} + a ,$$

де  $a = 40$  мм (табл.13.27 [8])

$$D_{\phi} = 1,1 + 0,04 = 1,14 \text{ м,}$$

приймаємо  $d_{\phi} = 1,15$  м (с.264 [8]).

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [8]

$$D_{\pi} \geq D_{\bar{6}} - e ,$$

де  $e = 30$  мм (табл.13,27 [8]);

$$D_{\pi} = 1,1 - 0,03 = 1,07 \text{ м.}$$

Приймаємо  $D_{\pi} = 1,07$  м

Середній діаметр прокладки [8]

$$D_{\text{ср.}\pi} \geq D_{\pi} - b_{\pi} ,$$

де  $b_{\pi} = 20$  мм - ширина прокладки (табл.1.42 [8]);

$$D_{\text{ср.}\pi} = 1,07 - 0,02 = 1,05 \text{ м.}$$

Еквівалентна ширина прокладки

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{b_{\pi}} \quad (\text{при } b_{\pi} > 15 \text{ мм});$$

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{20} = 2,68 \text{ мм.}$$

Застосовуємо матеріал прокладки - Пароніт по ГОСТ 481-80 товщиною 2 мм.

Кількість болтів, необхідне для забезпечення герметичності з'єднання, визначається за формулою [8]

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{б}}}, \quad (3.7)$$

де  $t_{\text{б}}$  - крок болтів,  $t_{\text{б}} = (4,2 \div 5) \cdot d_{\text{б}} = 4,5 \cdot 20 = 90$  мм (табл.13.20 [8])

$$Z_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 1,1}{0,09} = 38.$$

Приймаємо найближче більше кратне чотирьом значення  $Z_{\text{б}} = 40$  мм.  
Висота фланця визначається за формулою

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_{\text{вп}} \cdot s_{\text{е}}}, \quad (3.8)$$

де  $\lambda = 0,38$  - коефіцієнт (ріс.13.14 [8]);  $s_{\text{е}}$  - еквівалентна товщина втулки фланця

$$s_{\text{е}} = \alpha \cdot s_0,$$

де  $\alpha = 1,0$  - для плоского приварного фланця

$$s_{\text{е}} = 1,0 \cdot 8 = 8 \text{ мм};$$

$$h = 0,38 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 0,008} = 0,034 \text{ м},$$

приймаємо  $h = 40$  мм.

Розрахункова довжина болта між опорними поверхнями головки болта і гайки

$$l_{\text{б}} = l_{\text{б0}} + 0,28 \cdot d_{\text{б}};$$

$$l_{\text{б0}} = 2 \cdot (h_{\text{сп}} + s_{\text{п}});$$

$$l_{\text{б0}} = 2 \cdot (40 + 2) = 84 \text{ мм};$$

$$l_{\text{б}} = 84 + 0,28 \cdot 20 = 89,6 \text{ мм};$$

з урахуванням товщини трубної решітки приймаємо  $l_{\text{б}} = 140$  мм.

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_d = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{cp,\Pi}^2}{4}, \quad (3.9)$$

де  $p_R = 0,38$  МПа - внутрішній тиск в апараті;  $D_{cp,\Pi} = 1,05$  м - середній діаметр прокладки

$$Q_d = \frac{0,38 \cdot 3,14 \cdot 1,05^2}{4} = 0,17 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки при робочих умовах [8]

$$R_{\Pi} = \pi \cdot D_{cp} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R, \quad (3.10)$$

де  $m = 2,5$  - коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки (табл.13.28 [8]);

$$R_{\Pi} = 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,00268 \cdot 2,5 \cdot 0,38 = 0,007 \text{ МН.}$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_b \cdot f_b \cdot E_b \cdot (\alpha_{cp} \cdot t_{cp} - \alpha_b \cdot t_b), \quad (3.11)$$

де  $\alpha^{cp} = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1 / } ^\circ\text{C}$  - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця;  $\alpha_b = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1 / } ^\circ\text{C}$  - коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болтів;  $t_b = 0,96 \cdot t_p = 0,96 \cdot 77 = 75^\circ\text{C}$  - розрахункова температура неізольованих болтів;  $\gamma$  - безрозмірний коефіцієнт;  $Z_b$  - кількість болтів;  $F_b = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  - розрахункова площа поперечного перерізу болта по зовнішньому діаметру;  $E_b = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  - модуль поздовжньої пружності сталі 20к при  $t_b = 75^\circ\text{C}$ .

$$\gamma = A \cdot Y_b, \quad (3.12)$$

де  $Y_b$  - лінійна податливість болта.

$$Y_b = \frac{l_b}{E_b \cdot f_b \cdot Z_b} \quad (3.13)$$

$$Y_b = \frac{0,14}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 40} = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН;}$$

$$A = [Y_{\Pi} + Y_b + 0,25 \cdot (Y_{\phi 1} + Y_{\phi 2}) \cdot (D_b - D_{cp,\Pi})]^{-1},$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $Y_{\pi}$  - лінійна податливість прокладки;  $Y_{cp} = Y_{\phi 1} = Y_{\phi 2}$  - кутова податливість фланця;

$$Y_{\pi} = \frac{s_n}{\pi \cdot D_{cp,\pi} \cdot b_{\pi} \cdot E_{\pi}} \quad (3.15)$$

$$Y_{\pi} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН};$$

$$Y_{cp} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E}, \quad (3.16)$$

де  $\omega$  - безрозмірний параметр;  $\psi_2$  - коефіцієнт, що визначається за рис.13.17 [8].

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1}, \quad (3.17)$$

де  $\psi_1, J$  - коефіцієнти

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K;$$

$$K = \frac{D_{cp}}{D_{вп}} \text{ - для плоских фланців};$$

$$K = \frac{1,15}{1,0} = 1,15;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,15 = 6,6 \cdot 10^{-2},$$

$$\psi_2 = \frac{k+1}{k-1} = \frac{1,15+1}{1,15-1} = 14,3;$$

$$j = \frac{h}{s_e} = \frac{0,04}{0,008} = 5. \quad (\text{с.226 [8]})$$

тоді

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 6,6 \cdot 10^{-2} \cdot 5^2)]^{-1} = 0,52;$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Y_{\phi} = \frac{[1 - 0,52 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 14,3}{0,04^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,353 \cdot 10^{-5} \text{ М/МН};$$

$$A = [15,2 \cdot 10^{-6} + 7,8 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,353 \cdot (1,1 - 1,05)^2]^{-1} = 1871 \text{ МН/М};$$

отже

$$\gamma = 1871 \cdot 7,8 \cdot 10^{-5} = 0,146;$$

зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = 0,146 \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 75 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 74) = 0,0033 \text{ МН}.$$

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_{\text{ж}} = \frac{Y_{\phi} + 0,5Y_{\text{ср}}(D_{\phi} - D - s_o) \cdot (D_{\phi} - D_{\text{ср.п}})}{Y_{\text{п}} + Y_{\phi} + Y_{\text{ср}}(D_{\phi} - D_{\text{ср.п}})^2} \quad (3.18)$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{7,8 \cdot 10^{-5} + 0,353 \cdot 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot (1,1 - 1,0 - 0,008) \cdot (1,1 - 1,05)}{15,2 \cdot 10^{-6} + 7,8 \cdot 10^{-5} + 0,353 \cdot (1,1 - 1,05)^2} = 0,91.$$

Визначимо Болтове навантаження. В умови монтажу [8]

$$p_{\text{б1}} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{\text{ж}} \cdot Q_{\text{д}} + R_{\text{н}} \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\text{п}} \cdot p_{\text{пр}} \end{array} \right\}, \quad (3.19)$$

де  $p_{\text{пр}}$  - пробний тиск стиснення прокладки, для паронита по табл. 4 [8]  $p_{\text{пр}} = 20$  МПа.

$$p_{\text{б1}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,91 \cdot 0,277 + 0,007 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \\ 0,66 \end{array} \right\} = 0,66 \text{ МН}.$$

При робочих умовах [8]

$$p_{\text{б2}} = p_{\text{б1}} + (1 - k_{\text{ж}}) \cdot Q_{\text{д}} + Q_t \quad (3.20)$$

$$p_{\text{б2}} = 0,66 + (1 - 0,91) \cdot 0,277 + 0,0033 = 0,69 \text{ МН}.$$

Перевірка міцності та герметичності з'єднання

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умова міцності болтів [8]

$$\frac{P_{61}}{Z_6 \cdot f_6} \leq [\sigma_6]^{20}, \quad (3.21)$$

$$\frac{P_{62}}{Z_6 \cdot f_6} \leq [\sigma_6]^t, \quad (3.22)$$

де  $[\sigma_6]^{20} = 200$  МПа - для матеріалу болтів при температурі 20°C;  $[\sigma_6] = 138$  МПа - для матеріалу болтів при температурі 77°C.

$$\frac{0,66}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 200 = 70,2 \quad 200 - \text{умова виконується};$$

$$\frac{0,69}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 138 = 73,4 \quad 138 - \text{умова виконується}.$$

Визначимо приведений згинальний момент за формулою 1.145 [6]

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot P_{61} \\ 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot P_{62} \end{array} \right\} \quad (3.23)$$

$$M_0 = \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (1,1 - 1,05) \cdot 0,66 \\ 0,5 \cdot (1,1 - 1,05) \cdot 0,69 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,017 \\ 0,018 \end{array} \right\} = 0,018 \text{ МН} \cdot \text{м} \cdot \text{м}.$$

За формулою 1.141 [6] для прокладки з пароніту

$$\frac{P_{6\text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} \leq p_{\text{п.р}} \quad (3.24)$$

де  $P_{\text{п.р}}$  - допустиме тиск на прокладку по табл. 1.44 [6]  $p_{\text{п.р}} = 130$  МПа;

$$P_{6\text{max}} = \max \{P_{61}; P_{62}\} \quad (3.25)$$

$$P_{6\text{max}} = \max \{0,66; 0,69\} = 0,69 \text{ МН}.$$

$$\frac{P_{6\text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} = \frac{0,69}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02} = 10,5 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа},$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умова міцності виконується.

Для перетину, обмеженого розміром  $s_0$  перевіряємо умова за формулою 1.147 [6]:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma_0], \quad (3.26)$$

де  $\sigma_0$  - максимальне напруження в перерізі, обмеженому розміром  $s_0$ , яка визначається за формулою 1.148 [6];  $\varphi = 0,95$  - коефіцієнт міцності зварних швів;  $[\sigma_0]$  - допустиме напруження для фланця в перерізі  $s$  при кількості навантажень з'єднання (складання-розбирання) не більше  $2 \cdot 10^3$ ;  $\sigma_t$  - тангенціальна напруга у втулці від внутрішнього тиску;  $\sigma_m$  - меридиальное напруга у втулці від внутрішнього тиску;  
за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_m = \frac{p_p \cdot D_{\text{вп}}}{4(s_0 - c)} \quad (3.27)$$

$$\sigma_m = \frac{0,38 \cdot 1,0}{4 \cdot (0,008 - 0,0003)} = 11 \text{ МПа};$$

за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_t = \frac{p_p \cdot D_{\text{вп}}}{2 \cdot (s_0 - c)} \quad (3.28)$$

$$\sigma_t = \frac{0,38 \cdot 1,0}{2 \cdot (0,008 - 0,0003)} = 22 \text{ МПа};$$

за формулами 1.143 і 1.148 [6]

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{\text{cp}} \cdot M_0 \cdot v}{D^* \cdot (s_0 - c)^2}, \quad (3.29)$$

де  $\psi_3 = 1$  для плоских приварних фланців;  $T_{\text{CP}}$  - безрозмірний коефіцієнт;  
за формулою 1.144 [6]

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$T_{cp} = \frac{D_{II}^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_{II}}{D_{ВП}}\right) - D_{ВП}^2}{(1,05 \cdot D_{ВП}^2 + 1,945 \cdot D_{II}^2) \cdot \left(\frac{D_{II}}{D_{ВП}} - 1\right)} \quad (3.30)$$

де  $D_{II} = 1,07$  м - зовнішній діаметр прокладки;

$$T_{cp} = \frac{1,07^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,07}{1,0}\right) - 1,0^2}{(1,05 \cdot 1,0^2 + 1,945 \cdot 1,07^2) \cdot \left(\frac{1,07}{1,0} - 1\right)} = 1,7,$$

$$\sigma_0 = \frac{1 \cdot 1,7 \cdot 0,018 \cdot 0,52}{1,07 \cdot (0,008 - 0,0003)^2} = 251 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 570 \text{ МПа}.$$

Умова міцності

$$\sqrt{(251 + 11)^2 + 22^2} - (251 + 11) \cdot 22 \leq 0,95 \cdot 570$$

252 < 542 - умова міцності виконано.

Окружне тиск в кільці фланця

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{cp})] \cdot \psi_2}{(D_{ВН} \cdot h_{\psi}^2)} \quad (3.31)$$

$$\sigma_k = \frac{0,018 \cdot 14,3 \cdot [1 - 0,52 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)]}{1,0 \cdot 0,04^2} = 49 \text{ МПа}.$$

Визначаємо кут повороту фланця за формулою 1.150 [6]

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D_{ВН}}{E \cdot h_{cp}} \leq [\Theta], \quad (3.32)$$

де  $[\Theta] = 0,009$  радий - дозволений кут повороту фланця

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Theta = \frac{49 \cdot 1,0}{1,9 \cdot 10^5} = 0,0064 < 0,009 \text{ рад,}$$

тобто умова герметичності з'єднання виконується.

### 3.3 Розрахунок і вибір опори

Вибір типу опори залежить від ряду умов: місця установки апарату, співвідношення висоти і діаметра апарату, його маси і т. Д. При відношенні  $H / D \geq 5$  вибрано опора, зображена на кресленні колони. За ОСТ 26-467-78 вибираємо циліндричну опору виконання 1 і проводимо перевірочні розрахунки.

З додатку 2 [4] маса однієї тарілки при  $D = 1000$  мм

$$m_T = 41,5 \text{ кг,}$$

отже, при числі тарілок  $n = 36$  загальна маса тарілок

$$m_1 = m_T \cdot n = 41,5 \cdot 36 = 1494 \text{ кг.}$$

Маса обичайки колони

$$m_2 = \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad (3.33)$$

$$m_2 = 3,14 \cdot (1,0 + 0,008) \cdot 0,008 \cdot 14,4 \cdot 7850 = 2783 \text{ кг.}$$

Маса оснащення колони приймається в розмірі 20% від маси обичайки

$$m_3 = 0,2 \cdot m_2 = 0,2 \cdot 2783 = 557 \text{ кг.}$$

Обсяг колони  $V = 26 \text{ м}^3$ , тоді маса води при гідравлічних випробуваннях

$$m_4 = V \cdot \rho_v \quad (3.34)$$

$$m_4 = 26 \cdot 1000 = 26000 \text{ кг.}$$

Наведена навантаження на опору

$$Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g = (1494 + 2783 + 557 + 26000) \cdot 9,81 = 302,5 \cdot 10^3 \text{ Н} = \\ = 302,5 \text{ кН.}$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Міцність зварного з'єднання опори з корпусом визначаємо за умовою

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot a_1} \leq \varphi_s \cdot [\sigma], \quad (3.35)$$

де  $a_1 = 8$  мм - розрахункова товщина зварного шва;  $\varphi_s$  - коефіцієнт міцності зварного шва, зазвичай приймається  $\varphi_s = 0,7$ .

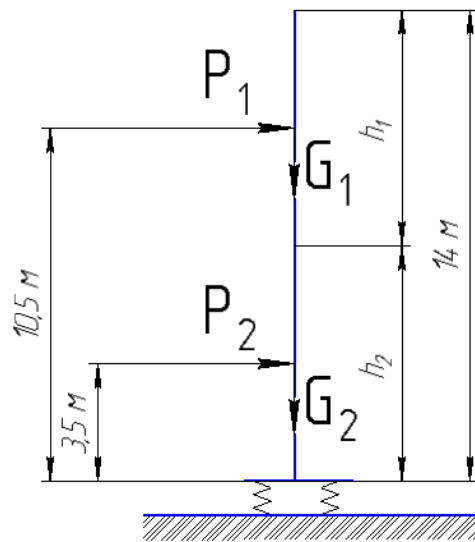
тоді

$$\sigma = \frac{4 \cdot 302,5 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1000 \cdot 8} = 48,2 \text{ МПа} \leq 0,7 \cdot 120 = 84 \text{ МПа.}$$

Отже, умова міцності зварного шва виконується.

### 3.4 Розрахунок колони на вітрове навантаження

Ставлення  $H / D = 14/1 = 14 < 15$ , отже, розрахункова схема приймається у вигляді упругозащемленого стрижня. Умовно розбиваємо по висоті апарат на 2 ділянки по 7 метрів, вага ділянки приймається зосередженим в середині ділянки; вітрове навантаження, рівномірно розподілена по висоті апарату, замінюється зосередженими силами, прикладеними в середині ділянки:



					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Період власних коливань для максимального і мінімального ваги колони.  
 При  $H / D < 15$

$$T = 1,79H \sqrt{\frac{G}{g} \left( \frac{H}{EJ} + 4\varphi_0 \right)}$$

де  $H = 14$  м - висота колони;  
 $G$  - максимальний або мінімальний вага колони;  
 $J$  - момент інерції верхнього поперечного перерізу корпусу апарату щодо центральної осі;

$E$  - модуль пружності;

де  $D_{cp}$  - середній діаметр корпусу

$$D_{cp} = D + (SC) = 1 + (0,008-0,001) = 1,007 \text{ м}$$

$$J = \pi 2,8793 (0,48-0,001) / 8 = 0,028 \text{ М}^4$$

$$\varphi_0 = 1 / C_{\phi} J_{\phi} = 1/50 \cdot 2,12 = 0,009 \text{ 1 / МН} \cdot \text{м}$$

де  $C_{\phi} = 50 \text{ МН} / \text{м}^3$  - коефіцієнт нерівномірності стиснення ґрунту;

$J_{\phi}$  - момент інерції підшви фундаменту щодо центральної осі

$$J_{\phi} = 1,3 J_k = 1,3 \cdot 0,12 = 0,16 \text{ М}^4$$

де  $J_k$  - момент інерції фундаментного кільця

$$J_k = \pi D^3 l / 8 = 3,14 \cdot 1,007 \cdot 0,3 / 8 = 0,12 \text{ М}^4$$

де  $l = 0,3$  м - ширина кільця

$$T_{\max} = 1,79 \cdot 14 [7,94 (14 / 1,86 \cdot 105 \cdot 4,498 + 4 \cdot 0,009) / 9,8] 0,5 = 6,42 \text{ с}$$

$$T_{\min} = 1,79 \cdot 14 [7,11 (14 / 1,86 \cdot 105 \cdot 4,498 + 4 \cdot 0,009) / 9,8] 0,5 = 6,08 \text{ с}$$

Нормативний швидкісний тиск для II географічного пояса  $q = 0,035 \cdot 10^{-2} \text{ МН} / \text{м}^2$  [2с.636]

Поправочний коефіцієнт до нормативного швидкісного напору для ділянок апарату висотою  $H > 10$  м  $\theta = 1,4$  [2 с. 686]. Розрахунковий швидкісний натиск по ділянках

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_1 = q_2 = \theta q = 1,4 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} = 0,049 \cdot 10^{-2} \text{ МН / м}^2$$

$$q_3 = 0,035 \cdot 10^{-2} \text{ МН / м}^2$$

Коефіцієнт динамічності визначаємо за графіком [2с.687]:

$$\text{для } T = 6,42 \text{ с} - \varepsilon = 3,3$$

$$\text{для } T = 6,08 \text{ с} - \varepsilon = 3,2$$

Коефіцієнт пульсації швидкісного напору визначаємо за графіком [2с687]:

$$\text{для ділянки 1} - m_1 = 0,34$$

$$\text{для ділянки 2} - m_2 = 0,35$$

Коефіцієнт збільшення швидкісного напору

$$\beta = 1 + \varepsilon m$$

при максимальній масі апарату

$$\beta_1 = 1 + 3,3 \cdot 0,34 = 2,122$$

$$\beta_2 = 1 + 3,3 \cdot 0,35 = 2,155$$

при мінімальній масі апарату

$$\beta_1 = 1 + 3,2 \cdot 0,34 = 2,088$$

$$\beta_2 = 1 + 3,2 \cdot 0,35 = 2,120$$

Сила від вітрового навантаження, що діє на кожен ділянку апарату

$$P_i = 0,6 \beta_i q_i D_i h_i$$

при максимальній силі тяжкості апарату

$$P_1 = 0,6 \cdot 2,122 \cdot 0,049 \cdot 10^{-2} \cdot 3,36 \cdot 7 = 0,0147 \text{ МН}$$

$$P_2 = 0,6 \cdot 2,155 \cdot 0,049 \cdot 10^{-2} \cdot 3,36 \cdot 7 = 0,0149 \text{ МН}$$

при мінімальній силі тяжкості апарату

$$P_1 = 0,6 \cdot 2,088 \cdot 0,049 \cdot 10^{-2} \cdot 3,36 \cdot 7 = 0,0144 \text{ МН}$$

$$P_2 = 0,6 \cdot 2,120 \cdot 0,049 \cdot 10^{-2} \cdot 3,36 \cdot 7 = 0,0147 \text{ МН}$$

Згинальний момент від вітрового навантаження на апарат щодо заснування при максимальній силі тяжкості апарату

$$M_{B1} = 0,0147 \cdot 17,5 = 0,257 \text{ МН}$$

$$M_{B2} = 0,0149 \cdot 10,5 = 0,156 \text{ МН}$$

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Sigma M_B = 0,413 \text{ МН}$$

при мінімальній силі тяжкості апарату

$$M_{B1} = 0,0144 \cdot 17,5 = 0,252 \text{ МН}$$

$$M_{B2} = 0,0147 \cdot 10,5 = 0,154 \text{ МН}$$

$$\Sigma M_B = 0,406 \text{ МН}$$

## 4 МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТУ

### 4.1 Монтаж проектованого апарату

Негабаритні колони, що поставляються блоками, збираються на монтажному майданчику з використанням складальних стендів - роликівих або канатних. Роликовий стенд складається з зварної металевої рами, приводу, обрешинених приводних і холостих роликів. Перестановка роликівих опор в напрямних дозволяє збирати апарати різного діаметру. Канатний стенд має кілька опор, в яких стикуються блоки підвішуються на канатах.

На складальних стендах здійснюється вивірка блоків з осьовим переміщенням і обертанням, а також зварювання. Для зварювання кільцевих швів стенди забезпечені перекидними містками, на яких розташовується зварювальне обладнання. Шви днищ варяться вручну, кільцеві шви обичайок - вручну або зварювальним автоматом.

Стикування блоків проводиться з застосуванням пристроїв, що забезпечують поєднання кромки. Залежно від прийнятого способу монтажу (укрупненими блоками або повністю зібраного апарату) на стенді

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здійснюється складання всього апарату або тільки укрупнених блоків, що складаються з 2-3 блоків поставки.

При монтажі укрупненими блоками після установки в проектне положення чергового блоку проводиться монтаж тарілок, металоконструкцій, обслуговуючих площадок. Після цього монтується наступний блок.

При монтажі повністю зібраного апарату спочатку апарат збирається з блоків, а потім приварюється опора.

Стикуються частини апарату підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до крайок однією з стикаються частин приварюють вісім і більше напрямних планок, які після прихватки стику короткими зварними швами зрізають газокисневою різкою. Подібні напрямні планки використовують і при установці одного блоку на інший в вертикальному положенні (при монтажі блоками). Стикування виробляють строго за заводськими контрольним ризикам або керна, нанесеним на корпусах які ретельно поєднують, а також по маркуванню на деталях. Відхилення розмірів стикаються ділянок повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромки у кільцевих швах не повинно перевищувати 10% товщини листа апарату, а в разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини плакуючого шару. Підгонку стиків, наприклад місцевим підтягуванням, роздачею, насадкою, виробляють інструментами і пристосуваннями, застосовуваними на машинобудівних заводах: гвинтовими струбцинами, стяжними клинами і ін.

У зварювальних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2-4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Зварювані кромки ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повну зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, виконані з двошарової сталі, прихоплюють по основного шару. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термообробки) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинен бути захищений від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомата. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату.

Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинна перевищувати 0,3% від проектної; кривизна утворює циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м-не більше 3 мм.

Вельми важливо правильне розташування на корпусі штуцерів і люків. Для установки і зварювання зручно застосовувати кондуктори та шаблони.

В процесі укрупненої збірки блоків на монтажному майданчику доводиться монтувати частина внутрішніх пристроїв, а іноді і всі внутрішні пристрої. Для цього внутрішню поверхню приладу ретельно очищають від сторонніх предметів, окалини. Потім апарат шляхом кантування або обертання навколо власної осі встановлюють в положення, що забезпечує найбільш легкий доступ всередину через люк і найбільш просте визначення базових складальних розмірів.

Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарату.

При горизонтальному положенні апарату тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, прикладають в декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату міткам, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90 °. Значно легше забезпечити

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



суворе горизонтальне положення тарілок в уже встановленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарату; в цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

Колонні апарати невеликих діаметрів (царгові колони) збирають з окремих ділянок (царг), що з'єднуються один з одним болтами. Розміри царг дозволяють проводити збірку внутрішніх пристроїв, деталі яких вносять в відокремлену від апарату царгу через відкриті торці. Часто поперечні елементи (наприклад, тарілки) затискають між двома суміжними царгами.

Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж. Для цієї мети закриваються всі люки, розташовані нижче контрольованої тарілки тарілка заливається водою. Тарілку заливають водою так, щоб надмірна кількість води зливалася через зливні пристрої. Злив по всьому периметру повинен бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Товщина шару води на всіх ділянках тарілки повинна бути також однаковою. Після заповнення гідрозатворів в зливних кишнях під перевіряється тарілку компресором нагнітають повітря. Рівномірність барботажа контролюється візуально.

Монтаж насадки колонних апаратів здійснюється після остаточної вивірки і закріплення апарату фундаментними болтами, установки обслуговуючих майданчиків і сходів, гідравлічного випробування.

При безладної завантаженні кілець Рашига або інших насадок елементів апарат заповнюється водою до верхнього люка і кільця з підйомного бака вивантажуються в воду. У міру наповнення колони зайва вода зливається через нижній штуцер колони.

Установка апаратів в проектне положення.

Технологія підйому апарату є складовою частиною проекту проведення монтажних робіт. Проектом передбачається детальна схема підйому, вказуються місця установки щогл або кранів, їх положення на різних етапах підйому,

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розташування розчалок, лебідок, що відводяться тросів, поліспаствів і т. Д. У цьому ж проекті наводяться технічні характеристики всіх підйомних коштів.

Зусилля, які відчують елементами такелажного оснащення при підйомі апаратів, змінюються в широкому інтервалі. Розрахунок цих елементів виробляють на максимальне зусилля.

Ступінь складності установки колонних апаратів в проектне положення визначається їх габаритними розмірами (висотою і діаметром), масою, а також висотою фундаменту (постаменту). Підйом апаратів здійснюють кранами або за допомогою щогл. Застосовують два основних способи підйому: ковзання і поворот навколо шарніра.

При підйомі апарату з ковзанням опорної частини по землі щогли встановлюють по обидва боки від фундаменту. Піднімається апарат попередньо підтаскують тракторами можливо ближче до фундаменту так, щоб його вісь була перпендикулярна до площини обох щогл. При підйомі верху апарату його опорна частина наближається до фундаменту, ковзаючи по заздалегідь підготовленій підставі на черевіку, що оберігає опорні конструкції від поломки або деформації. Щоб регулювати рух опорної частини і запобігти тим самим ривки або удари по фундаменту, нижню частину апарату страхують відтяжними тросом. Коли вісь апарату наближається до вертикального положення, його опорну частину відривають від землі. Далі апарат піднімають над фундаментом, за допомогою відтяжних тросів надають йому проектну орієнтацію і опускають на фундамент.

Як поворотного пристрою для підйому апаратів використовується шарнір на розрізній опорі. Опора апарату встановлюється в проектне положення, вивіряється і кріпиться до фундаменту анкерними болтами. Розмічається місце розвантаження опори. Нижче місця розрізу привариваються нижні частини шарніра, вище - верхні частини шарніра. Після цього опора розрізається, кромки різні готуються до наступної зварюванні після завершення монтажу, відрізана частина опори повертається на  $90^\circ$  і до неї пристиковується і приварюється встановлюється апарат. До підйому на апарат наноситься ізоляція,

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлюються кожуха, які обслуговують майданчики, трубопроводи. Можлива зворотна послідовність установки шарніра.

В останній момент виведення апарату в вертикальне положення з одночасною посадкою на фундамент він під дією великих сил інерції може обернутися навколо шарніра. Щоб запобігти цьому, до верхньої частини піднімається апарату прив'язують відтяжної трос (гальмівну відтягнення), за допомогою якого здійснюють плавну посадку на фундамент.

Порівнюючи способи ковзання і повороту можна відзначити наступні їхні переваги й недоліки. Підйом способом ковзання з відривом апарату від землі є найбільш простим, які вимагають мінімальних витрат на підготовчі роботи і оснащення. Однак при цьому способі, вантажопідйомність монтажних механізмів повинна бути дорівнює вазі апарату або перевершувати його. Іншим недоліком цього методу є підвищені вимоги до перевірки такелажного оснащення, оскільки максимальне навантаження на оснащення впливає тільки в кінці підйому.

Підйом способом повороту навколо шарніра вимагає більш високих витрат на підготовчі та допоміжні роботи. Ці витрати пов'язані з виготовленням та встановленням шарніра, а також з додатковими заходами для сприйняття горизонтальних навантажень на фундамент. Однак при цьому способі вантажопідйомність монтажних механізмів може бути значно менше ваги апарату (трохи більше 50% від ваги апарату). Перевагою цього методу є також те, що максимальне навантаження на такелажне оснащення діє в перші моменти підйому, а потім у міру підйому апарату зменшується. Це дозволяє на початку підйому після відриву апарату від землі дати витримку і перевірити перебуваючи-ня оснащення при повному навантаженні.

Випробування колонних апаратів.

Нові колони, а також колони, корпуси яких зазнавали значного ремонту, обпресовують. Обпресовування з метою перевірки міцності і щільності апарату проводиться на пробне тиск, величину якого встановлюють залежно від робочого тиску і вказують в паспорті або технологічною картою. При такому тиску апарат

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

витримують протягом 5 хв, після чого тиск повільно знижують до робочого і приступають до огляду корпусу, одночасно обстукування зварні шви молотком.

При гідравлічної обпресування високих колонних апаратів слід враховувати величину гідростатичного стовпа обпресувальна води; тому перед обпресуванням по паспорту або розрахунком перевіряють допустимість гідравлічного випробування в робочому положенні. Воно може проводитися, якщо навантаження на стінку нижнього пояса апарату від суми пробного тиску і тиску стовпа рідини не перевищує 0,8 величини межі текучості металу корпусу при температурі опресування.

У тих випадках, коли зазначена умова не виконується або виникає небезпека перевантаження фундаменту апарату, з дозволу і в присутності інспектора Держнаглядохоронпраці можна виробляти опресування колон повітрям або інертним газом. До пневматичної опресовці вдаються також тоді, коли за умовами технологічного процесу присутність води в колоні може викликати аварію при виході її на робочий режим.

Апарат, що знаходиться під тиском повітря, обстукувати молотком не можна; зварні шви обстуковують до початку опресування. У момент підвищення тиску стояти поблизу апарату заборонено.

Вакуумні колони піддають гідравлічному випробуванню на пробне тиск 0,2 МПа або пневматичної на тиск 0,11 МПа. Колони, що працюють при атмосферному тиску, як правило, випробовують шляхом заливання водою.

При перевірці зварних швів змазуванням їх гасом протягом 20-40 хв (в залежності від товщини кожного шва) стежать за появою плям на змащеній крейдою зворотного (зазвичай зовнішньої) стороні шва.

#### 4.2 Ремонт апарату

Ремонт колонних апаратів. Основним видом зносу колоною масообмінних апаратури є забивання колони відкладеннями і корозія її елементів. Зміст операцій і їх число при розбиранні колони залежить від її діаметра. Колони

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діаметром <0,8 робляться царговими на фланцях, колони діаметром> 0,8 м - звареними. Царгові колони розбираються повністю. Вантажопідйомний механізм повинен бути встановлений вище колони, що дозволяє зняти всі царги по черзі. При неможливості встановлення вантажопідйомного механізму вище колони демонтаж починається з нижньої царги при підйомі інших царг.

Суцільнозварні колони при ремонті частіше за все не демонтуються. Демонтуються тільки внутрішні пристрої колон.

Підготовка колонних апаратів до ремонту. Колонні апарати ремонтують при планово-попереджувальних ремонтах технологічної установки. Порядок підготовки апарату до ремонту і проведення ремонтних робіт залежить від особливостей установки.

У більшості випадків колонні апарати готують до ремонту в такий спосіб. Доводять тиск в колоні до атмосферного, з апарату видаляють робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, який витісняє залишилися в колоні пари і газу. Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чергують кілька разів. Час операцій обмовляється у виробничій інструкції (технологічному регламенті) кожної технологічної установки або технологічного блоку.

Промивання колон водою сприяє також більш швидкому їх охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50 ° С.

Пропарену і промиту колону від'єднують від всіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

Технологія ремонту. Ремонт апарату починають з його розтину, яке необхідно проводити, суворо дотримуючись таких правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, в результаті якого може

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, так як внаслідок різниці температур відбувається сильна притока повітря в колону, що може привести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Після відкриття люків колона деякий час провітрюється в результаті природної конвекції повітря.

Після закінчення провітрювання потрібно провести аналіз проб повітря, взятих з колони на різних висотних відмітках. До робіт всередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і парів в ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

При роботі всередині колони необхідно ретельно дотримуватися правил техніки безпеки. Робочий повинен надягати запобіжний пояс з мотузкою, кінець якої виводиться назовні і надійно закріплюється; за роботою знаходиться всередині колони робочого постійно спостерігає спеціально виділений для цієї мети робочий. Тривалість безперервної роботи в колоні повинна бути не більше 15 хв. Після цього необхідний такий же за тривалістю відпочинок поза колони (зазвичай робочий і спостерігач міняються місцями).

При перших же ознаках появи всередині ремонтowanego апарату вибухонебезпечних, горючих або токсичних рідин, парів і газів всяку роботу слід негайно припинити.

До підготовки колони пред'являють особливо високі вимоги в тому випадку, якщо в ній повинні проводитися вогневі (зварювальні) роботи.

Для освітлення всередині колони застосовують лампи напругою не більше 12 В. Переносне освітлення повинно бути вибухобезпечним.

Корпус колони, а також її внутрішні пристрої піддають ретельному огляду. При необхідності огляду всієї поверхні корпусу розбирають внутрішні пристрої або їх частину.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Здійснити ремонт і внутрішній огляд високих пустотілих колонних апаратів буде дуже складно, оскільки це вимагає споруди спеціальних лісів всередині апарату. Для безпечного та ефективного технічного огляду і ремонту апаратів застосовується спеціальна підвісна платформа, елементи якої вводяться в апарат через люк і збираються всередині апарату. Платформа, що піднімається тросом, дозволяє виконувати огляд і чистку внутрішньої поверхні апарату, огляд зварних швів, ремонт внутрішньої поверхні апарату.

Виявлення дефектів корпусу, що вимагає високої кваліфікації, включає візуальний огляд для визначення загального стану корпусу і ділянок, що піддаються найбільшому зносу; вимір залишкової товщини корпусу за допомогою ультразвукових дефектоскопів, шляхом мікрометрірованія і контрольного просвердлювання отворів; перевірку на щільність зварних швів і різних з'єднань і т. д.

За характером виявленого дефекту встановлюють зміст і спосіб ремонту корпусу. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом.

Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими з обов'язковим встановленням зміцнювальних кілець. Бажано, щоб зміцнюють кільця нових штуцерів мали дещо більший діаметр, ніж старі: це дозволяє приварювати їх в новому місці. Ремонту піддають все штуцери, сигнальні отвори на зміцнювальних кільцях яких під час експлуатації були заглушені пробками.

При кожному ремонті вимірюють фактичну товщину стінки корпусу експлуатованого колонного апарату. Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце ставлять нову ділянку, заздалегідь звальцований по радіусу колони. Зварювання виробляють встик. Вирізання великих ділянок корпусу може привести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектного ділянки його зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число й перетин стійок і розміри опорних лап розраховують виходячи з умови рівності їх опорів опору ви різаного перетину.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проміжні обичайки легко замінюють наступним чином. Встановлюють підйомні щогли, які утримують верхню, неушкоджену частину колони, відокремлюють цю частину від пошкодженої ділянки газопорізки і опускають на землю. Пошкоджену частину колони стропят і за допомогою тих же щогл опускають на землю. Заздалегідь підготовлену нову частину колони піднімають і стикуються з нижньою частиною колони, потім піднімають верхню її частину. Після перевірки монтованих частин заварюють обидва стикових шва.

Дуже часто, з огляду на трудомісткість таких замін ділянок корпусу, визнають доцільною повну заміну зношеної колони. Демонтаж зношеної колони виробляють в порядку, зворотному монтажу. Після відповідних перевірок демонтується колона може бути використана для установки монтажних щогл точно так же, як нова колона-для демонтажу.

При ремонті і обслуговуванні насадок колон основна увага повинна приділятися очищенню внутрішніх пристроїв апарату, його корпусу і заміні насадок кілець.

За допомогою лебідки, цебра на верх колони (або до будь-якого люка) подаються нові насадки кільця і опускаються вниз старі. Для завантаження і вивантаження насадки зазвичай використовуються бадді з днищем і змінні переносні лотки, завдяки чому трудомісткі роботи значно скорочуються.

Для вивантаження насадок кілець можуть використовуватися стаціонарні лотки, які встановлюються або зовні, або всередині обслуговуючих майданчиків. Швидкості падаючих кілець гасяться в кінці лотка. Для цього передбачається бункер з затвором-шибером, яким регулюється надходження кілець в воронку пересувного контейнера, яке постачає їх в самоскид або спеціальний контейнер.

Існує схема механізації завантаження насадок кілець в апарати колонного типу з застосуванням пересувної електричної талі, бункера (бадді) і лотка. Насадок кільця подаються до апарату акумуляторним навантажувачем або іншими видами транспорту в спеціальному бункері (бадді). Останній піднімається за допомогою пересувної електричної талі на верхню позначку, переміщається по

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



монорельсу до осі відкритого прорізу і опускається на лоток, поєднаний з відкритим завантажувальним люком колони.

При ослабленні натягу стріли нижній клапан бадді відкривається і насадка висипається в апарат. Нижні секції колони завантажуються аналогічним чином, тільки попередньо відкриваються отвори, монтується лоток на найближчій майданчику і встановлюється тимчасові огорожі. Верхня частина колони завантажуються насадкою після зняття верхньої кришки апарату.

Після ремонту проводиться гідравлічне або пневматичне випробування апарату на щільність і герметичність.

## 5. Охорона праці

За порушення законодавчих та інших нормативних актів про охорону праці Закон України «Про охорону праці» передбачає відповідальність дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну.

За порушення законодавства про охорону праці та невиконання приписів (розпоряджень) посадових осіб органів виконавчої влади з нагляду за охороною праці юридичні та фізичні особи, які відповідно до законодавства використовують найману працю, притягаються органами виконавчої влади з нагляду за охороною праці до сплати штрафу в порядку, встановленому законом. Сплата штрафу не звільняє юридичну або фізичну особу, яка відповідно до законодавства

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовує найману працю, від усунення виявлених порушень у визначені строки.

Кроме відшкодування шкоди працівникам (внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання), роботодавець повністю відшкодовує шкоду іншим підприємствам, громадянам і державі на загальних підставах у зв'язку з заподіянням шкоди при порушенні вимог охорони праці.

Дисциплінарна відповідальність регулюється Кодексом законів про працю і передбачає такі види покарання, як догана та звільнення. Законодавством, статутами і положеннями про дисципліну, які діють в деяких галузях народного господарства можуть бути передбачені для окремих категорій й інші дисциплінарні стягнення. Дисциплінарне стягнення застосовується роботодавцем безпосередньо за виявленням проступку, але не пізніше одного місяця з дня його виявлення, не рахуючи часу звільнення працівника від роботи у зв'язку з тимчасовою непрацездатністю або перебуванням його у відпустці. Дисциплінарне стягнення не може бути накладене пізніше шести місяців з дня вчинення проступку. До того, як накласти дисциплінарне стягнення, роботодавець повинен зажадати від винного працівника письмові пояснення. У тому випадку, коли працівник відмовляється надати пояснення, про це повинен бути складений акт за підписом посадової особи і працівників підприємства, які були свідками відмови. За кожне порушення трудової дисципліни може бути застосоване лише одне притягнення до дисциплінарної відповідальності.

Адміністративна відповідальність - це відповідальність посадових осіб і працівників перед органами державного нагляду, полягає в застосуванні до них штрафних санкцій. Умови залучення до адміністративної відповідальності передбачені Кодексом України про адміністративні правопорушення. Ст. 41 КУпАП передбачає, що порушення вимог законодавчих та інших нормативних актів з охорони праці тягне за собою накладення штрафу на винних осіб у таких розмірах від 2 до 5 неоподатковуваних мінімумів доходів громадян на працівників, і від 5 до 10 не оподатковуваних мінімумів доходів громадян на посадових осіб

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності, а також на громадян - власників підприємств чи уповноважених ними осіб.

Кримінальна відповідальність за порушення правил охорони праці покладається на працівників і посадових осіб підприємств, а також на роботодавців. Поняттям «порушення правил охорони праці» охоплюється недотримання загальнодержавних, галузевих і локальних - для даного підприємства правил, інструкцій, положень та інших підзаконних актів, розроблених і прийнятих відповідно до Закону України «Про охорону праці» та Кодексу законів про працю України. Кримінальна відповідальність настає не за будь-яке порушення, а за порушення вимог охорони праці, яке створювало небезпеку для життя або здоров'я громадян, яке призвело або могло призвести до нещасних випадків, аварій або інших важких наслідків. Ознаки злочину є як у діях, так і в бездіяльності, тобто в невиконанні того, що слід робити на виконання відповідних правил, інструкцій тощо. Ступінь покарання залежить від конкретних обставин і встановлюється Кримінальним кодексом України.

Матеріальна відповідальність у вигляді грошової компенсації накладається на працівників і посадових осіб за шкоду, заподіяну підприємству, а також на роботодавців за порушення вимог щодо охорони праці. Спільними підставами накладення матеріальної відповідальності на працівника є наявність прямої шкоди, вина працівника (у формі умислу або недбалості), протиправні дії (бездіяльність) працівника, а також наявність причинного зв'язку між винними і протиправними діями (бездіяльністю) працівника і заподіяною шкодою. На працівника може бути покладена матеріальна відповідальність за наявності всіх перерахованих умов, відсутність хоча б одного з них виключає матеріальну відповідальність працівника. Розрізняють обмежену матеріальну відповідальність, повну матеріальну відповідальність, колективну матеріальну відповідальність і матеріальну відповідальність за порушення вимог охорони праці.

Стаття 43. Штрафні санкції до юридичних та фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, посадових осіб та працівників.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За порушення законодавства про охорону праці, невиконання розпоряджень посадових осіб органів державного нагляду за охороною праці юридичні та фізичні особи, які відповідно до законодавства використовують найману працю, притягаються органами державного нагляду за охороною праці до сплати штрафу в порядку, встановленому законом.

Максимальний розмір штрафу не може перевищувати п'яти відсотків місячного фонду заробітної плати юридичної чи фізичної особи, яка відповідно до законодавства використовує найману працю.

Несплата юридичними чи фізичними особами, які використовують відповідно до законодавства використовує найману працю, штрафу тягне за собою нарахування на суму штрафу пені в розмірі двох відсотків за кожний день прострочення.

Застосування штрафних санкцій до посадових осіб і працівників за порушення законів та інших нормативно-правових актів з охорони праці здійснюється відповідно до Кодексу України про адміністративні порушення. Особи, на яких накладається штраф, вносять його в касу підприємства за місцем роботи.

Рішення про стягнення штрафу може бути оскаржено в місячний строк у судовому порядку.

Засоби від застосування штрафних санкцій до юридичних чи фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, посадових осіб і працівників, визначених цією статтею, зараховуються до Державного бюджету України.

Стаття 44. Відповідальність за порушення вимог законодавства про охорону праці.

За порушення законів та інших нормативно-правових актів про охорону праці, створення перешкод у діяльності посадових осіб органів державного нагляду за охороною праці, а також представників профспілок, їх організацій та

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єднань винні особи притягаються до дисциплінарної, адміністративної, матеріальної, кримінальної відповідальності згідно із законом.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лашинський А.А., Толчинський А.Р. Основи конструювання і розрахунку хімічної апаратури. Л., 1976.
2. Лашинський А.А. Конструювання зварних хімічних апаратів. Л., «Машинобудування», 1981.
3. Павлов К.Ф., Романків П.Г., Носков П.А. Приклади і задачі по курсу процесів і апаратів хімічної технології. К., «Хімія», 1987.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Ворогів А.П., Михайлівський Я.Е. Оптимізаційне проектування ректифікаційних колон з використанням ПЕОМ: Навчальний посібник. - Суми: Вид-во СумДУ, 2000. - 65 с.
5. Методичні рекомендації та контрольні завдання для самостійної роботи з курсу "Процеси та обладнання хімічних виробництв". Частина 2 Масообмінні процеси і обладнання / Упоряд. : А.П. Ворогів, Я.Е. Михайлівський.- Суми: Вид-во СумДУ, 2002 - 55 с.
6. Машины та апарати хімічних виробництв. Приклади і задачі. За заг. ред. Соколова Л.М., 1982.
7. ГОСТ 14249-89. Судини і апарати. Норми і методи розрахунку на міцність. - М. : Державний комітет стандартів, 1989. - 33с.
8. Основні процеси та апарати хімічної технології. : Посібник з проектування / За ред. Ю.І.Дитнерського.- М. : Хімія, 1991.
9. Основні процеси та апарати хімічної технології: Посібник з проектування під ред. Дитнерської М. Хімія 1991-466с.
10. Загальні методичні вказівки до Виконання комплексного курсового проекту з дисциплін за професійним безпосередньо 0902 "Інженерна механіка" зі спеціальності 6.090220 "Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів" / Укладачі: С.М. Яхненко, С.І Якушко. - Суми: СумДУ, 2007. - 27 с.

					ПОХНП.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		