

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: Установка розділення суміші вода – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконав:  
студент групи ХМз-71с  
Циркін Ілля Сергійович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, ст. викладач

Острога Руслан Олексійович

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

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

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

Курс 4 Група ХМз-71с Семестр 8

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

Студенту Циркіну Іллі Сергійовичу

1 Тема роботи: Установка розділення суміші вода – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону з ковпачковими тарілками для розділення суміші вода – оцтова кислота. Продуктивність проєктованого апарату становить 30 т/добу. Вміст легколеткого компоненту в початковій суміші 30 % мол.; у дистилаті 90 % мол.; у кубовому залишку 5 % мол. Тиск у колоні 0,1 МПа.

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

1. Технологічна схема ректифікаційної установки – 0,5 арк.
2. Складальне креслення ректифікаційної колони – 1,0 арк.
3. Складальні креслення ковпачкової тарілки і опори – 1,5 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – Суми : СумДУ, 2008. – 170 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 2020 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

ст. викл. Острога Р.О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 55 с., 5 рис., 3 додатки, 16 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальне креслення ректифікаційної колони, складальні креслення ковпачкової тарілки та опори – усього 4 аркуша графічної частини (3,0 × формат А1).

Тема кваліфікаційної роботи «Установка розділення суміші вода – оцтова кислота. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення бінарних сумішей на окремі компоненти, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарату та його гідравлічний опір, обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів проектного апарату, розраховано і підібрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроєктованого апарату. Окремим розділом представлені монтаж і ремонт ректифікаційної колони. У розділі «Охорона праці» приведено класифікацію приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, ВОДА, ОЦТОВА КИСЛОТА, КОВПАЧКОВА ТАРІЛКА, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ.

## Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної схеми установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації	7
1.3 Опис проектованої ректифікаційної колони та вибір основних конструкційних матеріалів	11
2 Технологічні розрахунки процесу та апарату	15
2.1 Технологічні розрахунки	15
2.2 Конструктивні розрахунки	23
2.3 Гідравлічні розрахунки	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	34
3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність	39
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу апарату	39
3.2 Розрахунок товщини стінки кришки (днища) апарату	41
3.3 Розрахунок опори апарату	42
4 Монтаж та ремонт апарату	45
4.1 Монтаж апарату	45
4.2 Ремонт апарату	47
5 Охорона праці	51
Список використаних джерел	54
Додаток А – Рівноважна і робоча лінії на х – у діаграмі	
Додаток Б – Крива рівноваги бінарної суміші	
Додаток В – Специфікації	

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Циркін				<b>Тарілчаста ректифікаційна колона</b> <i>Пояснювальна записка</i>	Лім.	Лист	Листів
Перевір.	Острога						4	55
Реценз.						<b>СумДУ, ХМз-71с</b>		
Н. Контр.								
Затверд.	Склабінський							

## Вступ

У хімічній промисловості виникає потреба розділяти однорідні суміші на окремі компоненти або їх фракції. Розділення двокомпонентних сумішей можна здійснити за допомогою масообмінних процесів. Одним із основних масообмінних процесів, якому піддаються розділювані суміші – це ректифікація [1].

Ректифікація являє собою енергоємний процес, що потребує великих витрат гріючої пари та охолоджуючої води, тому для досягнення високих експлуатаційних показників дуже важливе значення має вибір оптимальних режимів роботи установок, що базується на знанні теоретичних основ процесу.

При виборі оптимальних умов роботи ректифікаційної установки необхідно враховувати витрати тепла та основні параметри (температуру і тиск) гріючої пари і охолоджуючої води, а також необхідні розміри, як самої колони, так і пов'язаних із нею теплообмінних апаратів (кип'ятильника, підігрівача вихідної суміші, дефлегматора і холодильника парів). Усі ці фактори взаємопов'язані і залежать від температури і агрегатного стану суміші, яка подається на розділення [2].

Вихідна суміш може надходити в колону не тільки в рідкому, але також і в пароподібному стані або у вигляді суміші рідини і пари. За інших рівних умов (а саме, заданих складах дистилляту і залишку, тиску в колоні) підведення тепла в колону мінімальне у разі подачі на живильну тарілку вихідної суміші, попередньо нагрітої до температури кипіння [1].

Пріоритетом багатьох виробництв є створення високоефективних і водночас простих за конструкцією апаратів. Такий підхід зумовлює розмаїття конструктивних рішень ректифікаційних колон [2].

У даному проекті представлено розрахунок тарілчастої ректифікаційної колони, яка входить до складу безперервно діючої установки. Загалом кваліфікаційну роботу виконано у відповідності до методичних вказівок [3] із представленням усіх регламентованих розділів.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічну схему безперервно діючої ректифікаційної установки для розділення суміші вода – оцтова кислота представлено на рис. 1.1.

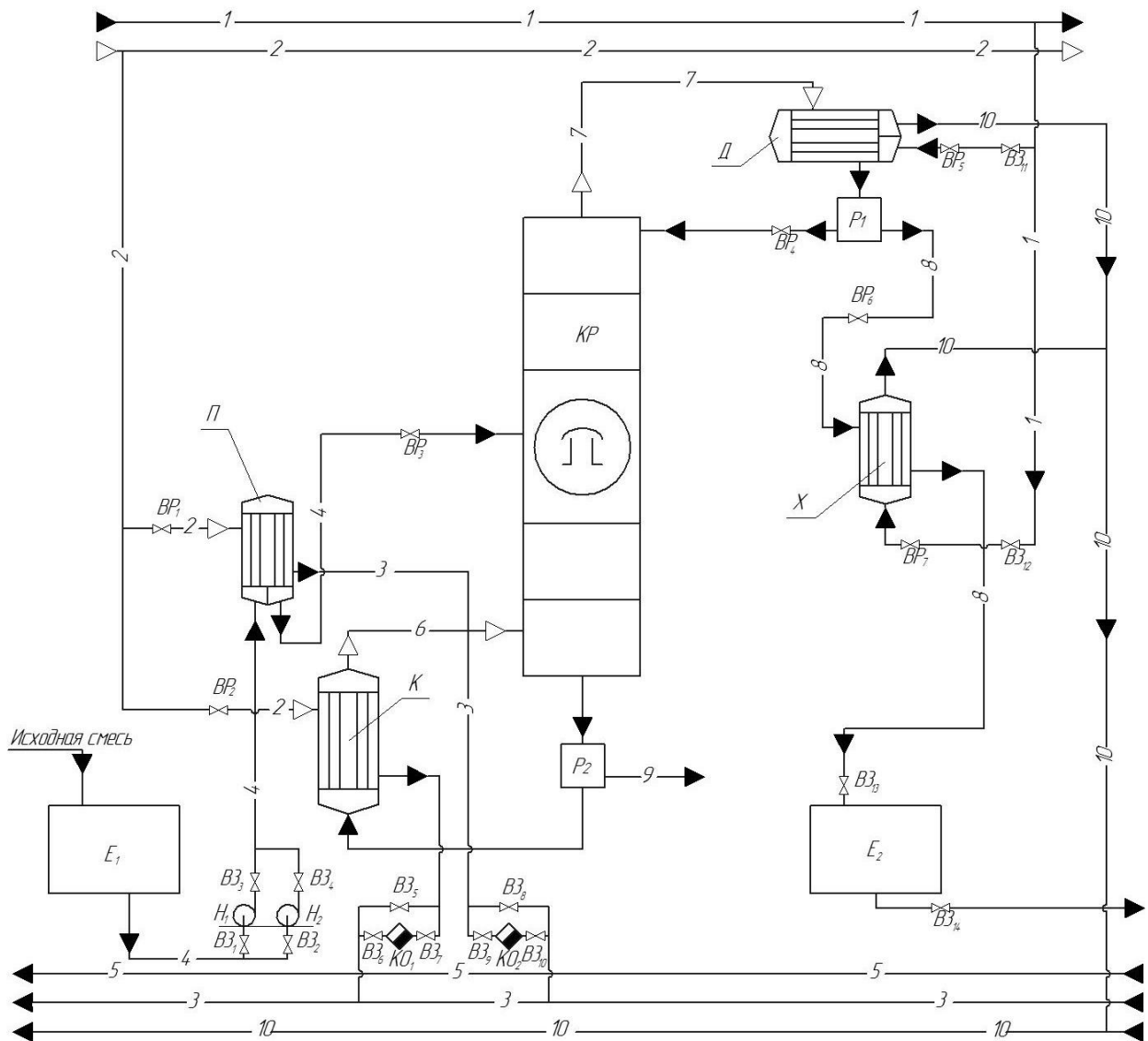


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки:

$E_1, E_2, E_3$  – ємності;  $H_1, H_2$  – відцентрові насоси; П – підігрівач;

К – кип'ятильник; КР – колона ректифікаційна;  $X_1, X_2$  – холодильники;

Д – дефлегматор;  $P_1, P_2$  – розподілювачі

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Бінарна суміш після сировинної ємності за допомогою відцентрових насосів подається у підігрівач, де нагрівається до температури початку кипіння.

Уже підігріта суміш спрямовується у секцію живлення атмосферної ректифікаційної колони з ковпачковими тарілками. Тарілка живлення розділяє колону на дві умовні частини: верхню – зміцнюючу і нижню – вичерпну. На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної суміші.

У результаті розділення суміші з нижньої частини колони відводиться оцтова кислота, яка спрямовується до споживача. Частина оцтової кислоти відбирається із нижньої частини колони і виходить у випарник, де за рахунок тепла насиченої водяної пари відбувається її вскипання. Таким чином утворюється пара висококиплячого компонента, який повертається під нижню тарілку ректифікаційної колони у якості парового зрошення.

У верхній частині колони відбувається процес зміцнення пари низькокиплячим компонентом за рахунок багатоступеневого контактування на масообмінних тарілках зі стікаючою зверху униз флегмою. Водяні пари, що відводяться з верхньої частини колони, надходять у дефлегматор, 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. Далі отримана вода може бути застосована для технологічних потреб даної установки.

## 1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації [1, 2, 4]

Згідно плівкової моделі, кількість речовини  $q$ , яка перейшла через одиницю поверхні в одиницю часу, пропорційна різниці концентрацій в ядрі і на кордоні фази, якщо перенесення походить від ядра до поверхні розділення фаз:

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q = \frac{D}{\delta_{E\Phi}} \cdot (c_0 - c_{ГР}), \quad (1.1)$$

де  $c_0$  і  $c_{ГР}$  – відповідно середня концентрація в ядрі фази і концентрація на межі поділу фаз;

$\delta_{E\Phi}$  – «ефективна» або «приведена» товщина прикордонної плівки.

Для фази по іншу сторону поверхні розділу величина  $q$  пропорційна різниці концентрацій на кордоні і в ядрі фази.

У рівнянні (1.1)  $D/\delta_{E\Phi}$  – коефіцієнт, що характеризує швидкість масовіддачі, а величина  $\delta_{E\Phi}$  за своїм змістом – товщина деякого прикордонного шару, опір якого молекулярній дифузії еквівалентно опору перенесення, зумовленого в дійсності конвективною дифузією.

У плівковій моделі значно спрощено справжні гідродинамічні умови поблизу кордону розділення фаз, де відбувається загасання турбулентності. З цієї причини більшість дослідних даних не підтверджують залежності  $q \sim D$ , як випливає із рівняння (1.1), якщо вважати, що величина  $\delta_{E\Phi}$  не залежить від  $D$ . Крім того, ефективні товщини плівок практично не піддаються розрахунку або вимірюванню.

Більш точно враховуються умови біля кордону розділення в модифікованій плівковій моделі, званою моделлю дифузійного прикордонного шару.

Концентрація речовини постійна в ядрі потоку фази ( $c_0 = const$ ) повільно знижується в турбулентному прикордонному шарі, де спочатку речовина переноситься переважно турбулентними пульсаціями. Із наближенням до кордону фази і зменшенням масштабу пульсацій на ділянці товщини шару, у так званому в'язкому підшарі, концентрація знижується помітно швидше. Тут під дією сил тертя рух наближається до ламінарного і зростає частка речовини, що передається молекулярною дифузією.

Однак, на більшій частині товщини  $\delta_0$  в'язкого підшару турбулентною дифузією переноситься більша кількість речовини, ніж молекулярною. Лише в

						Лист
					XI.P.00.00.00 ПЗ	8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



самій глибині вузького підшару, всередині тонкого дифузійного підшару товщиною  $\delta$ , що безпосередньо примикає до кордону розділення фаз, молекулярний перенос стає переважаючим.

Дифузійний підшар, як показано на рис. 1.2, є областю найбільш різкої і близької до лінійної зміни концентрацій. Його товщина  $\delta$  пов'язана із товщиною  $\delta_0$  в'язкого підшару залежністю

$$\delta = \left( \frac{D}{\nu} \right)^{1/m} \cdot \delta_0, \quad (1.2)$$

де  $\nu$  – кінематична в'язкість;

$m$  – константа, яка визначається дослідним шляхом.

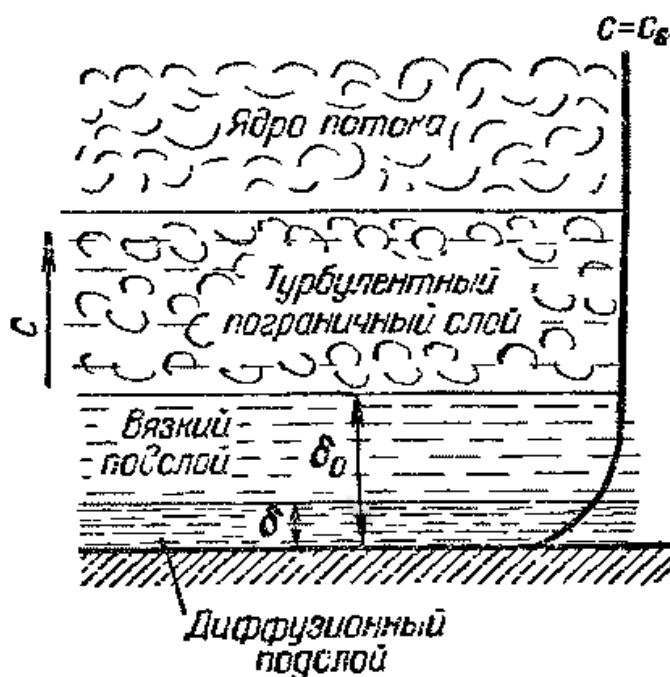


Рисунок 1.2 – Структура потоку і профіль концентрацій у фазі

Таким чином, загасання турбулентності відбувається поступово і безперервно, і лише біля найтвердішої стінки швидкість пульсації стає рівною нулю, що відповідає  $\varepsilon_D=0$ . У системах газ (пара) – рідина, що характеризуються

рухомою поверхнею розділення, сили поверхневого натягу діють подібно силам тертя у твердій поверхні. Однак, до сих пір достовірно не встановлено справжній закон загасання турбулентних пульсацій із наближенням до кордону фази, і величину  $m$  не можна визначити теоретично.

На даний час не існує теоретичних моделей масопередачі, які ґрунтуються на точних, надійно перевірених досвідом гідродинамічних закономірностях. Основною причиною цього слід вважати складність і недостатню вивченість турбулентного руху.

Зважаючи на складність механізму процесів масовіддачі у фазах, для практичних цілей приймають, що швидкість масовіддачі пропорційна рушійній силі, яка дорівнює різниці концентрацій в ядрі і на кордоні фази або (у разі зворотного напрямку перенесення) – різниці концентрацій на кордоні і в ядрі фази.

Відповідно, якщо розподілювана речовина переходить із фази  $\Phi_Y$  в фазу  $\Phi_X$ , то основне рівняння масовіддачі, яке визначає кількість  $M$  речовини, що переноситься в одиницю часу в кожній із фаз (до кордону фази або у зворотному напрямку), виражається у такий спосіб:

фаза  $\Phi_Y$

$$M = \beta_y \cdot F \cdot (\bar{y} - \bar{y}_{ГР}) \quad (1.3)$$

фаза  $\Phi_X$

$$M = \beta_x \cdot F \cdot (\bar{x}_{ГР} - \bar{x}) \quad (1.4)$$

Різниці концентрацій  $\bar{y} - \bar{y}_{ГР}$  і  $\bar{x}_{ГР} - \bar{x}$ , які входять у ці рівняння являють собою рушійну силу процесу масовіддачі відповідно у фазах  $\Phi_Y$  и  $\Phi_X$ , причому  $\bar{y}$  і  $\bar{x}$  – середні концентрації в основній масі (ядрі) кожної із фаз,  $\bar{y}_{ГР}$  і  $\bar{x}_{ГР}$  – концентрації біля кордону відповідної фази.

Коефіцієнти пропорційності  $\beta_x$  і  $\beta_y$  називають коефіцієнтами масовіддачі.

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за потоками:

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_F = G_D + G_W; \quad (1.5)$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони за легколетким компонентом:

$$G_F \cdot x_F = G_D \cdot x_D + G_W \cdot x_W, \quad (1.6)$$

де  $G_F$ ,  $G_D$ ,  $G_W$  – масові або мольні витрати живлення, дистиляту та кубового залишку відповідно;

$x_F$ ,  $x_D$ ,  $x_W$  – вміст легколетучого компонента в живленні, дистиляті і кубовому залишку відповідно.

Прихід тепла:

- з теплоносієм в кип'ятильнику  $Q_K$ ;
- з вихідною сумішшю  $Q_F$ ;
- з флегмою  $Q_\Phi$ .

Витрата тепла:

- з парами, які надходять з колони в дефлегматор  $Q_G$ ;
- із залишком  $Q_W$ ;
- втрати в навколишнє середовище  $Q_{ВТР}$ .

Таким чином, рівняння теплового балансу приймає вигляд:

$$Q_K + Q_F + Q_\Phi = Q_G + Q_W + Q_{ВТР}. \quad (1.7)$$

### 1.3 Опис проектованої ректифікаційної колони та вибір основних конструкційних матеріалів

Нашим об'єктом дослідження є тарілчаста ректифікаційна колона (див. рис. 1.3, а). За конструкцією це вертикальний циліндричний апарат, до якого приварено днище. Кришка приєднана за допомогою фланцевого з'єднання.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

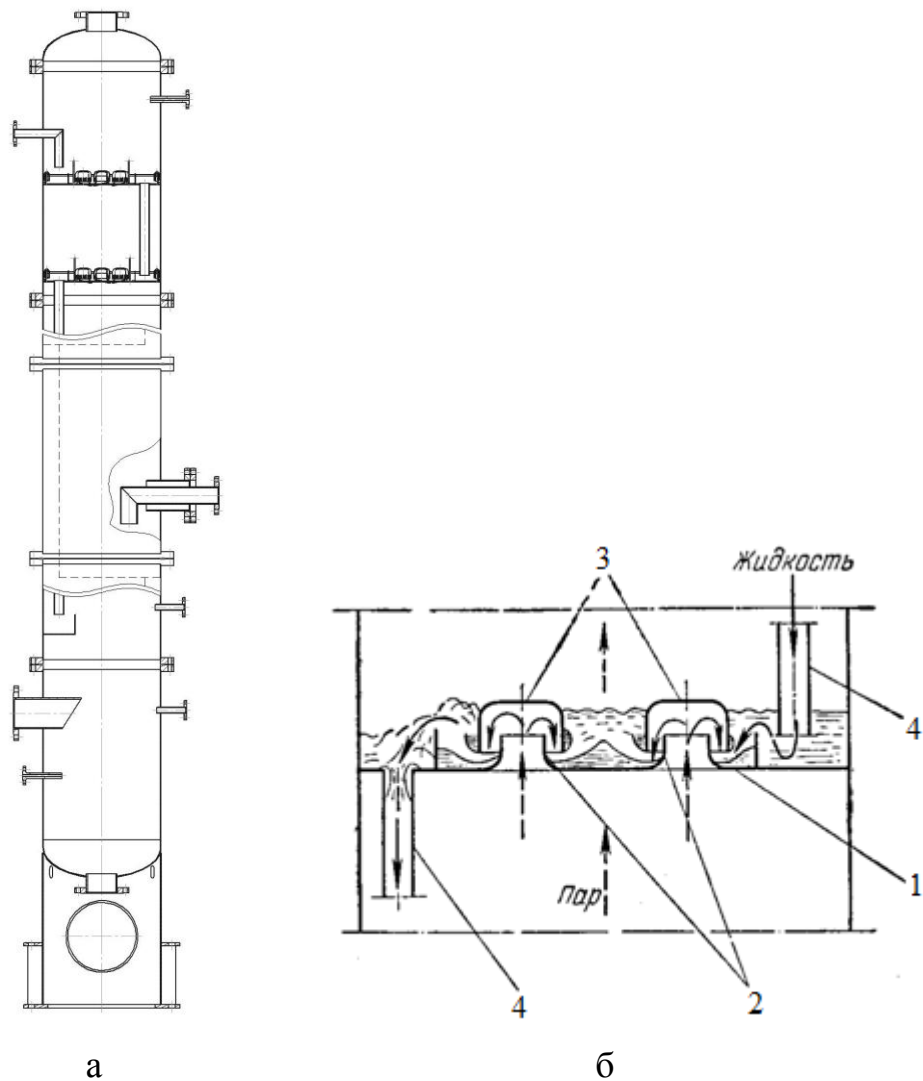


Рисунок 1.3 – Схема тарільчастої колони (а) та принцип роботи ковпачкової тарілки (б): 1 – полотно; 2 – парові патрубки; 3 – ковпачок; 4 – зливні патрубки

Усередині апарату у якості контактних пристроїв встановлені ковпачкові тарілки (див. рис. 1.3, б). За допомогою тарілок секціонується простір усередині колони та створюється спрямований рух газової та рідинної фаз. Принцип дії ковпачкових тарілок полягає в тому, що бульбашки пари, які виходять через прорізи ковпачка, зливаються у струмені. Утворені струмені володіють більшою кінетичною енергією і завдяки цьому проходять шар рідини, яка знаходиться на тарілці. Над рідиною утворюється шар піни і бризок – основна область масообміну і теплообміну між паром і рідиною на тарілці.

Принцип роботи колони полягає у наступному. Пара, що утворилася у випарнику, повертається під нижню тарілку колони, тим самим забезпечуючи її паровим зрошенням. Унизу колони температура майже дорівнює температурі кипіння висококиплячого компонента.

Попередньо нагріта до кипіння вихідна суміш подається на тарілку живлення колони, яка ділить колону на дві частини: нижню (вичерпну) і верхню (зміцнюючу). Вихідна суміш із живильної тарілки стікає на нижче розташовані, взаємодіючи на своєму шляху з паром, що рухається від низу до верху по колоні. У результаті такої взаємодії пара збагачується легколетким компонентом (яким є вода), а стікаюча вниз рідина, навпаки, збіднюється цим компонентом, а збагачується труднолетким (оцтова кислота). У нижній частині колони йде процес вичерпання легколеткого компоненту із вихідної суміші.

Для збереження високої чистоти розділюваних компонентів, необхідно здійснювати рідинне зрошення верхньої частини колони. Утворений дистилат ділиться на два потоки: один у вигляді продукту спрямовується на подальше охолодження і на склад готової продукції, а інший повертається назад у колону в якості флегми. На верхній тарілці колони температура майже дорівнює температурі кипіння низькокиплячого компонента.

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°C при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [5].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [5–7].

Тому до конструкційних матеріалів проектованої апаратури висувають наступні вимоги [6]:

1) висока корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при робочих параметрах процесу;

2) висока механічна міцність при заданих робочих тисках, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічних випробуваннях та експлуатації апаратів;

3) гарна зварюваність матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;

4) низька вартість і доступність матеріалів.

Здійснимо підбір конструкційного матеріалу для виготовлення основних деталей і вузлів ректифікаційної колони. Підбір здійснюємо, враховуючи значення температури та тиску, а також агресивність робочого середовища.

Для деталей колони, які контактують із рідиною вибираємо матеріал – нержавіючу та корозійно стійку сталь 12Х18Н10Т; матеріал опори – сталь ВСтЗсп; для усіх інших елементів – сталь Ст 3.

У якості прокладкового матеріалу (для ущільнення з'єднань) використовуємо пароніт ПОН-1 – це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

						ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			14

## 2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

### 2.1 Технологічні розрахунки

Технологічні розрахунки виконуємо у відповідності до методики, що представлена у джерелі [8]. У нашому випадку продуктивність колони за бінарною сумішшю задана у масових одиницях (кг/год.), тому необхідно перевести молярні частки легколеткого компоненту також у масові:

$$\bar{x}_f = x_f \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_f}; \quad (2.1)$$

$$\bar{x}_D = x_D \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_D}; \quad (2.2)$$

$$\bar{x}_W = x_W \cdot \frac{M_{\text{ллк}}}{M_W}; \quad (2.3)$$

$$M_F = M_{\text{ллк}} \cdot x_F + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_F); \quad (2.4)$$

$$M_F = 18 \cdot 0,3 + 60 \cdot (1 - 0,3) = 47,4 \text{ кг/кмоль};$$

$$M_D = M_{\text{ллк}} \cdot x_D + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_D), \text{ кг/кмоль}; \quad (2.5)$$

$$M_D = 18 \cdot 0,9 + 60 \cdot (1 - 0,9) = 22,2 \text{ кг/кмоль};$$

$$M_W = M_{\text{ллк}} \cdot x_W + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_W), \text{ кг/кмоль}; \quad (2.6)$$

$$M_W = 18 \cdot 0,05 + 60 \cdot (1 - 0,05) = 57,9 \text{ кг/кмоль}.$$

$M_{\text{ллк}}=18$  кг/кмоль,  $M_{\text{тлк}}= 60$  кг/кмоль – молярні маси легколеткого і важколеткого компонентів [9].

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						15
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{x}_f = 0,3 \cdot \frac{18}{47,4} = 0,114;$$

$$\bar{x}_D = 0,9 \cdot \frac{18}{22,2} = 0,730;$$

$$\bar{x}_W = 0,05 \cdot \frac{18}{57,9} = 0,016.$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [8]:

$$G_f = G_D + G_W; \quad (2.7)$$

за легколетким компонентом:

$$G_f \cdot \bar{x}_f = G_D \cdot \bar{x}_D + G_W \cdot \bar{x}_W; \quad (2.8)$$

Спільне розв'язання рівнянь (2.7) і (2.8) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистилляту і кубового залишку:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\bar{x}_f - \bar{x}_W}{\bar{x}_D - \bar{x}_W}; \quad (2.9)$$

$$G_D = 0,347 \cdot \frac{0,114 - 0,016}{0,730 - 0,016} = 0,047 \text{ кг/с};$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_f}{\bar{x}_D - \bar{x}_W}; \quad (2.10)$$

$$G_W = 0,347 \cdot \frac{0,730 - 0,114}{0,730 - 0,016} = 0,30 \text{ кг/с}.$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Будуємо рівноважну криву в координатах  $y - x$  (див. Додаток Б).

Визначаємо мінімальне флегмове число за рівнянням [8]:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}; \quad (2.11)$$

де  $y_f^*$  – склад пари, яка перебуває в рівновазі з вихідною сумішшю; за рівноважною кривою  $y_f^* = 0,43$ .

$$R_{\min} = \frac{0,9 - 0,52}{0,52 - 0,3} = 1,73.$$

Визначаємо оптимальне флегмове число [8]:

$$R = 1,3 \cdot R_{\min} + 0,35; \quad (2.12)$$

$$R = 1,3 \cdot 1,73 + 0,35 = 2,6.$$

Значення оптимального флегмowego числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати стікаючої по колоні флегми і парів, що піднімаються [8]:

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.13)$$

$$G_R = 2,6 \cdot 0,047 = 0,122 \text{ кг/с};$$

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.14)$$

$$G_V = (2,6 + 1) \cdot 0,047 = 0,169 \text{ кг/с}.$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями [8]:

– для верхньої частини колони:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.15)$$

– для нижньої частини колони:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.16)$$

де  $F$  – число живлення, що визначається за формулою:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F}; \quad (2.17)$$

$$F = \frac{0,347}{0,047} \cdot \frac{22,2}{47,4} = 3,46.$$

Ордината точки А (див. додаток А), в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.15) і (2.16) підстановкою в них замість  $x$  значення  $x_f$ :

$$y_f' = \frac{2,6}{2,6+1} \cdot 0,3 + \frac{0,9}{2,6+1} = 0,47;$$

$$y_f'' = \frac{3,46+2,6}{2,6+1} \cdot 0,3 - \frac{3,46-1}{2,6+1} \cdot 0,05 = 0,47.$$

Рівність значень  $y_f' = y_f''$  засвідчує про правильність розрахунків.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

Середні молярні концентрації рідини визначаються за середньоарифметичними залежностями:

– у верхній частині колони:

$$x'_{cp} = \frac{(x_f + x_D)}{2}; \quad (2.18)$$

– у нижній частині колони:

$$x''_{cp} = \frac{(x_f + x_W)}{2}; \quad (2.19)$$

$$x'_{cp} = \frac{(0,3 + 0,9)}{2} = 0,6;$$

$$x''_{cp} = \frac{(0,3 + 0,05)}{2} = 0,175.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній:

– у верхній частині колони:

$$y'_{cp} = \frac{R}{R+1} \cdot x'_{cp} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$y''_{cp} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x''_{cp} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.21)$$

$$y'_{cp} = \frac{2,6}{2,6+1} \cdot 0,6 + \frac{0,9}{2,6+1} = 0,68;$$

$$y''_{cp} = \frac{3,46+2,6}{2,6+1} \cdot 0,175 - \frac{3,46-1}{2,6+1} \cdot 0,05 = 0,26.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами:

– у верхній частині колони:

$$M'_{cp} = y'_{cp} \cdot M_{лк} + (1 - y'_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

$$M''_{cp} = y''_{cp} \cdot M_{лк} + (1 - y''_{cp}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.23)$$

$$M'_{cp} = 0,68 \cdot 18 + (1 - 0,68) \cdot 60 = 31,4 \text{ кг/кмоль};$$

$$M''_{cp} = 0,26 \cdot 18 + (1 - 0,26) \cdot 60 = 49,1 \text{ кг/кмоль}.$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони:

$$\rho'_y = \frac{M'_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t'_y)}; \quad (2.24)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_y = \frac{M''_{cp} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t''_y)}; \quad (2.25)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

де  $t'_y = 105^\circ\text{C}$  – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації  $y'_{cp}$  (визначається за діаграмою [2]);

$t''_y = 112^\circ\text{C}$  – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації  $y''_{cp}$  (визначається по діаграмі [2]).

$$\rho'_y = \frac{31,4 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 105)} = 1,0 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho''_y = \frac{49,1 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 112)} = 1,55 \text{ кг/м}^3.$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho'_x = x'_{cp} \cdot \rho'_{лк} + (1 - x'_{cp}) \cdot \rho'_{тлк}; \quad (2.26)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_x = x''_{cp} \cdot \rho''_{лк} + (1 - x''_{cp}) \cdot \rho''_{тлк}; \quad (2.27)$$

де  $\rho'_{лк}$ ,  $\rho''_{лк}$ ,  $\rho'_{тлк}$ ,  $\rho''_{тлк}$  – густини рідини легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах  $t'_x$ ,  $t''_x$ ;

$\rho'_{лк} = 957 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho'_{тлк} = 971 \text{ кг/м}^3$  при температурі  $t'_x = 102^\circ\text{C}$  [9];

$t'_x = 102^\circ\text{C}$  – середня температура рідини у верхній частині колони в залежності від концентрації  $x'_{cp}$ ;

$\rho''_{лк} = 953 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho''_{тлк} = 968 \text{ кг/м}^3$  при температурі  $t''_x = 109^\circ\text{C}$  [9];

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

$t_x'' = 109^\circ\text{C}$  – середня температура рідини в нижній частині колони в залежності від концентрації  $x_{cp}''$ .

$$\rho_x' = 0,6 \cdot 957 + (1 - 0,6) \cdot 971 = 963 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_x'' = 0,175 \cdot 953 + (1 - 0,175) \cdot 968 = 965 \text{ кг/м}^3.$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Граничну і робочу швидкості парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулами [8]:

$$\omega' = (0,75 \div 0,9) \cdot \omega_{np}; \quad (2.28)$$

де  $\omega_{np}$  – швидкість газу, що відповідає точці заклинання, м/с.

$$\omega_{np} = c \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_n}{\rho_n}}; \quad (2.29)$$

де  $c$  – коефіцієнт, який вибирається у залежності від типу тарілок і відстані між ними. Для ковпачкових тарілок при відстані між тарілками  $H = 500$  мм  $c = 0,04$ .

Гранична швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega_{np}' = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{963 - 1,0}{1,0}} = 1,24 \text{ м/с};$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

– для нижньої частини колони

$$\omega''_{np} = 0,04 \cdot \sqrt{\frac{965 - 1,55}{1,55}} = 1,0 \text{ м/с.}$$

Робоча швидкість парів:

– для верхньої частини колони

$$\omega' = 0,8 \cdot 1,24 = 1,0 \text{ м/с;}$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = 0,8 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ м/с.}$$

Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [8]:

– у верхній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{G_R}{G_V} = \frac{R}{R+1}; \quad (2.30)$$

– у нижній частині колони:

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{G_R + G_f}{G_V} = \frac{R + F}{R+1}; \quad (2.31)$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{2,6}{2,6+1} = 0,72;$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{2,6+3,46}{2,6+1} = 1,68.$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V' = \frac{G_V}{\rho_y'}; \quad (2.32)$$

– у нижній частині колони

$$V'' = \frac{G_V}{\rho_y''}; \quad (2.33)$$

$$V' = \frac{0,169}{1,0} = 0,169 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V'' = \frac{0,169}{1,55} = 0,109 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр колони розраховується за формулою [8]:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.34)$$

– для верхньої частини колони:

$$D' = \sqrt{\frac{0,169}{0,785 \cdot 1,0}} = 0,46 \text{ м};$$

– для нижньої частини колони:

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24



$$D'' = \sqrt{\frac{0,109}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,42 \text{ м.}$$

Найближчий більший діаметр у відповідності до ГОСТ 9617-76 «Посудини й апарати. Ряди діаметрів» становить 500 мм. Але цей номінальний розмір взятий у дужки, а це означає, що він не є рекомендованим. Таким чином, вибираємо наступний більший за рядом розмір 600 мм.

Дійсні робочі швидкості пари в колоні дорівнюють:

$$w_g = 1,0 \cdot \left( \frac{0,46}{0,6} \right)^2 = 0,59 \text{ м/с;}$$

$$w_n = 0,8 \cdot \left( \frac{0,42}{0,6} \right)^2 = 0,39 \text{ м/с.}$$

У результаті побудови горизонтальних і вертикальних відрізків між робочою та рівноважною лініями (див. Додаток А) отримуємо таке число теоретичних тарілок: у верхній частині  $N'_m = 6$  шт.; у нижній частині  $N''_m = 2$  шт.

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою к.к.д. тарілки:

$$N_d = N_m / \eta, \quad (2.35)$$

де  $\eta$  – середній к.к.д. ковпачкової тарілки [10].

Число дійсних тарілок у колоні складе:

– у верхній частині

$$N_d = 6 / 0,53 \approx 12 \text{ шт.}$$

						Лист
					XI.P.00.00.00 ПЗ	25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

– у нижній частині

$$N_{\partial} = 2 / 0,53 \approx 4 \text{ шт.}$$

Висота тарільчастої частини колони залежить від числа дійсних тарілок  $N_{\partial}$  і прийнятої відстані між ними:

$$H_T = (N_{\partial} - 1) \cdot H, \quad (2.36)$$

де  $N_{\partial} = 16$  – загальна кількість тарілок у колоні;  
 $H = 500$  мм – відстань між тарілками.

$$H_m = (16 - 1) \cdot 500 = 7500 \text{ мм.}$$

На підставі практичних даних [10] відстань між верхньою кришкою колони і її верхньою зміцнюючою тарілкою приймається 600 мм; висота секції живлення становить 1200 мм; відстань між нижнім днищем та нижньою відгінною тарілкою 900 мм.

Таким чином, загальна висота колони складе 9700 мм (без урахування опори).

#### **Визначення діаметра патрубків.**

Діаметр патрубка визначається за формулою [10]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}, \quad (2.37)$$

де  $\omega$  – швидкість пара або рідини, м/с.

Швидкість пари приймається в межах 10–15 м/с, швидкість рідини 0,5–2 м/с [8].

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Діаметри патрубків для входу і виходу парів:

$$d_v = \sqrt{\frac{0,169}{1,0 \cdot 0,785 \cdot 12}} = 0,134 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметри патрубків  $d_v = 150$  мм.

Діаметр патрубка для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{0,122}{963 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,018 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка  $d_R = 20$  мм.

Діаметр патрубка для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{0,347}{965 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,03 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка  $d_f = 32$  мм.

Діаметр патрубка для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{0,30}{966 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,028 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубка  $d_w = 32$  мм.

### 2.3 Гідравлічні розрахунки

Визначаємо гідравлічний опір тарілки за методикою, що представлена у джерелі [10]. Відстань між тарілками  $H_T = 0,5$  м.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Визначаємо навантаження за паром і навантаження за рідиною тарілки:

$$G_n = 0,169 \text{ кг/с};$$

$$G_p = 0,347 + 0,122 = 0,469 \text{ кг/с}.$$

За даними табл. 8.6 [10] вибираємо тарілку типу ТСК-1 для колони діаметром  $D = 600$  мм. Ця тарілка має наступні параметри: робоча площа тарілки  $F_p = 0,125 \text{ м}^2$ ; площа проходу парів  $F_0 = 0,027 \text{ м}^2$ ; площа зливу  $F_{зл} = 0,12 \text{ м}^2$ ; периметр зливу  $\Pi = 0,480$  м; довжина шляху рідини по тарілці  $l_p = 0,37$  м; кількість ковпачків на тарілці  $m = 13$ ; діаметр ковпачка  $d_k = 80$  мм.

У завдання подальших гідравлічних розрахунків основних параметрів тарілки входить визначення висоти зливного порога  $h_{ноп}$ , підпору рідини над зливним порогом  $h_{зл}$ , висоти прорізів ковпачка  $h_{np}$  і опору тарілки  $\Delta P$ .

Величину  $h_{зл}$  розраховуємо попередньо без урахування виносу рідини:

$$h_{зл} = 0,68 \cdot \left( \frac{V_p}{\Pi} \right)^{0,67}, \quad (2.38)$$

$$\text{де } V_p = \frac{G_p}{\rho_p} = \frac{0,469}{965} = 4,86 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$h_{зл} = 0,68 \cdot \left( \frac{4,86 \cdot 10^{-4}}{0,480} \right)^{0,67} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Для визначення висоти зливного порога розраховуємо висоту прорізів у ковпачках за рівнянням:

$$h_{np} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_n}{m \cdot z \cdot b}\right)^2 \cdot \frac{\rho_n}{\rho_p - \rho_n}}. \quad (2.39)$$

Прийmemo ковпачок з прямокутними прорізами шириною  $b = 4$  мм. Кількість прорізів в одному ковпачку  $z = 20$ . Загальна кількість ковпачків на тарілці  $m = 13$ . За цих даних отримаємо:

$$h_{np} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,169}{13 \cdot 20 \cdot 0,004}\right)^2 \cdot \frac{1,55}{965 - 1,55}} = 0,016 \text{ м.}$$

Приймаємо за табл. 8.4 [10] висоту прорізу  $h_{np} = 20$  мм.

У цьому випадку пара буде проходити через повністю відкриті прорізи і частково через нижню кромку ковпачка. Для забезпечення цього прийmemo висоту установки ковпачка  $h_y = 10$  мм.

Глибина барботажу при атмосферному тиску складе:

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{\rho_p}\right) \cdot P^{0,35}; \quad (2.40)$$

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{965}\right) \cdot (0,1 \cdot 10^6)^{0,35} = 0,04 \text{ м.}$$

Знаходимо висоту зливного порога за рівнянням:

$$h_{нор} = h_{z.б.} - h_{зл} + h_{np} + h_y, \quad (2.41)$$

$$h_{нор} = 0,04 - 0,0067 + 0,02 + 0,01 = 0,063 \text{ м.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29

Висота піни, що утворюється на тарілці, складе:

$$h_{nn} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} \cdot (k_3 \cdot w'^2 \cdot \rho_n + k_4 \cdot h_{3л} + h_{nop}), \quad (2.42)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини на кордоні з парою або газом, Н/м;

Значення коефіцієнтів, що входять в рівняння  $k_2, k_3, k_4$  визначаємо за табл. 8.3 [10] у залежності від типу тарілки. Для ковпачкової тарілки  $k_2 = 0,23$ ,  $k_3 = 4,4 \cdot 10^{-2}$ ,  $k_4 = 4,6$ .

$$h_{nn} = \frac{0,23}{0,02^{0,33}} \cdot (4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,39^2 \cdot 1,55 + 4,6 \cdot 0,0067 + 0,063) = 0,087 \text{ м.}$$

Величина відносного унесення рідини:

$$Y = \frac{k_1}{\sigma} \cdot \left( \frac{w'}{H_T - h_{nn}} \right)^{n_1}. \quad (2.43)$$

Значення коефіцієнта  $k_1$  і показника ступеня  $n_1$  також визначаємо за табл. 8.3 [10] у залежності від типу тарілки. Для ковпачкової тарілки  $k_1 = 23 \cdot 10^{-5}$ ,  $n_1 = 1,16$ .

$$Y = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{0,02} \cdot \left( \frac{0,39}{0,5 - 0,087} \right)^{1,16} = 0,01 < 0,1.$$

Отже, відстань між тарілками вибрано правильно.

Дійсне навантаження зливного пристрою за рідиною розраховуємо за рівнянням:

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{p.\partial.} = V_p + \frac{G_n \cdot Y}{\rho_p}, \quad (2.44)$$

$$V_{p.\partial.} = 4,86 \cdot 10^{-4} + \frac{0,169 \cdot 0,01}{965} = 4,88 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Дійсна величина підпору рідини над зливним порогом:

$$h_{зл.\partial.} = 0,68 \cdot \left( \frac{4,88 \cdot 10^{-4}}{0,480} \right)^{0,67} = 6,7 \cdot 10^{-3}.$$

Отримана величина не відрізняється від раніше розрахованої.

Перевіримо працездатність зливної пристрою тарілки за умовами:

$$w_{p.зл} = \frac{V_{p.\partial.}}{F_{зл}} < k_5 \cdot H_T^{n_2}; \quad (2.45)$$

$$w_{p.з.} = \frac{V_{p.\partial.}}{\Pi \cdot a} < 0,45. \quad (2.46)$$

Значення коефіцієнта  $k_5$  і показника ступеня  $n_2$  визначаємо за табл. 8.5 [10] в залежності від фактору піноутворення рідини:  $k_5 = 0,250$ ,  $n_2 = 0,65$ .

Для тарілок типу ТСК-1 зазор під зливним стаканом  $a = 0,035$  м.

Розрахуємо швидкість рідини в зливному пристрої:

$$w_{p.зл} = \frac{4,88 \cdot 10^{-4}}{0,12} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}.$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі розраховуємо комплекс:

$$k_5 \cdot H_T^{n_2} = 0,250 \cdot 0,5^{0,65} = 0,159.$$

Отже, умова (2.45) виконується і захлинання зливного пристрою не відбудеться.

Швидкість рідини в зазорі між підставою тарілки і нижньою кромкою зливного стакану:

$$w_{p.z.} = \frac{4,88 \cdot 10^{-4}}{0,480 \cdot 0,035} = 0,029 \frac{m}{c} < 0,45 \frac{m}{c}.$$

Із розрахунків виходить, що обрана однопоточна тарілка забезпечить нормальну роботу зливних пристроїв.

Опір сухої тарілки визначаємо за рівнянням:

$$\Delta P_c = \zeta_c \cdot \rho_n \cdot \frac{w_0^2}{2}, \quad (2.47)$$

де швидкість пари в парових патрубках

$$w_0 = \frac{V_n}{F_0}; \quad (2.48)$$

$$w_0 = \frac{0,109}{0,027} = 4 \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт опору для ковпачка діаметром  $D = 80$  мм складе

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32



$$\xi_c = 1,73 \cdot D^{-0,25}; \quad (2.49)$$

$$\xi_c = 1,73 \cdot 0,08^{-0,25} = 3,25;$$

$$\Delta P_c = 3,25 \cdot 1,55 \cdot \frac{4^2}{2} = 40 \text{ Па.}$$

Величина перепаду рівня рідини на тарілці:

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_e \cdot \frac{l_p \cdot V_{p.d.}^2}{\Pi^2 \cdot (h_{nop} + h_{зл.д.})^3 \cdot g}, \quad (2.50)$$

де  $\lambda_e$  – еквівалентний коефіцієнт опору перетоку рідини по тарілці. Для нормалізованих тарілок з капсульними ковпачками можна прийняти  $\lambda_e \approx 16 \cdot l_p$ .

$$\Delta h = 0,1 \cdot 16 \cdot 0,37 \cdot \frac{0,37 \cdot (4,88 \cdot 10^{-4})^2}{0,480^2 \cdot (0,063 + 6,7 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 9,81} = 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Опору шару рідини на тарілці розраховуємо за рівнянням:

$$\Delta P_p = \left( h_{z.б.} + \frac{h_{np} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_p \cdot g; \quad (2.51)$$

$$\Delta P_p = \left( 0,04 + \frac{0,020 + 6,8 \cdot 10^{-5}}{2} \right) \cdot 965 \cdot 9,81 = 474 \text{ Па.}$$

Загальний опір тарілки дорівнює:

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_p ; \quad (2.52)$$

$$\Delta P = 40 + 474 = 514 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір усієї колони:

$$\Delta P_K = (N_{HP} + N_{BP}) \cdot \Delta P ; \quad (2.53)$$

$$\Delta P = (4 + 12) \cdot 514 = 8224 \text{ Па.}$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

**Розрахунок і підбір насосу для подачі вихідної суміші у колону [11].**

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, як дорівнює  $w = 1,5$  м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}} , \quad (2.54)$$

де  $V$  – об'ємна витрата суміші, що подається в колону, м<sup>3</sup>/с.

$$V = \frac{0,347}{960} = 3,61 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d = \sqrt{\frac{3,61 \cdot 10^{-4}}{0,785 \cdot 1,5}} = 0,0175 \text{ м.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		34

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 20 мм.  
Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.55)$$

$$\text{Re} = \frac{1,5 \cdot 0,02 \cdot 960}{6,5 \cdot 10^{-4}} = 44308,$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,02} = 0,01; \quad \frac{1}{e} = 100; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 56000; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 1000.$$

Для зони, що є автотомельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.56)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,01^{0,25} = 0,035.$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та напірної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями)  $\xi_1 = 0,5$ ;
- 2) 2 коліна з кутом  $90^\circ$   $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$ .

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

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

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

Для напірної лінії:

- 1) вентиль прямоточний  $\xi_1 = 0,65$ ;
- 2) 3 коліна з кутом  $90^\circ$   $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$ ;
- 3) 1 кожухотрубний теплообмінник  $\xi_3 = 3,05$ ;
- 4) вихід з труби  $\xi_4 = 1$ .

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4;$$

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 + 3,05 + 1 = 8.$$

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left( \lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.57)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left( 0,035 \cdot \frac{4}{0,02} + 2,7 \right) \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 1,1 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left( 0,035 \cdot \frac{7,5}{0,02} + 8 \right) \cdot \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} = 2,4 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.58)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$h_{II} = 1,1 + 2,4 = 3,5 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_{ж} \cdot g} + H_r + h_{II}, \quad (2.59)$$

де  $P_2 - P_1$  – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку, враховуючи, що тиск у колоні також атмосферний, ця різниця дорівнює 0;

$H_r$  – геометрична висота піднімання рідини, м.

$$H = 0 + 4,5 + 3,5 = 8 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.60)$$

$$N_{II} = 960 \cdot 9,81 \cdot 3,61 \cdot 10^{-4} \cdot 8 = 27,2 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку повинен розвинути електродвигун насосу на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.61)$$

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

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = \frac{27,2}{1 \cdot 0,6} = 45,3 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-3,5/18-5 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 3,5 м<sup>3</sup>/год.; напір насосу 18 м; потужність, яку потребує насосом 5,25 кВт; частота обертів 1050 об/хв.

**Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [10].** Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи із 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення  $\psi = 0,8 \dots 0,85$ . Приймаємо  $\psi = 0,82$ .

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.62)$$

$$V_{EP} = \frac{1250 \cdot 7}{0,82 \cdot 960} = 11,1 \text{ м}^3.$$

Задамося діаметром ємності  $D = 2,2$  м, тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}, \quad (2.63)$$

$$H = \frac{11,1}{0,785 \cdot 2,2^2} = 3 \text{ м.}$$

### 3 Розрахунки апарату на міцність та герметичність

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу апарату

Основні розрахункові параметри:

- усереднена температура середовища становить 105°C;
- робоча температура стінки (приймаємо на 5°C меншою) дорівнює 100°C;
- робочий тиск у колоні 0,1 МПа.

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском  $P > 0,07$  МПа відповідно до рекомендацій наведених у [12] складе:

$$P_p = 1,1 \cdot p = 1,1 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні [13]:

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot P_p \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma] \\ P_p + 0,3 \end{array} \right\}, \quad (3.2)$$

де  $[\sigma]_{20}, [\sigma]$  – допустиме напруження для сталі 12X18Н10Т при температурі 20°C і температурі 100°C відповідно [12]:  $[\sigma]_{20} = 160$  МПа;  $[\sigma] = 152$  МПа.

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,11 \cdot 160 / 152 \\ 0,11 + 0,3 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,17 \\ 0,41 \end{array} \right\} = 0,41 \text{ МПа.}$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для сталі 12X18Н10Т [12]:  $E_{20} = 2 \cdot 10^5$  МПа;  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Коефіцієнт міцності зварного шва, згідно [12], складе:  $\varphi = 0,9$ .

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском [12]:

$$S_{\kappa} = \frac{P_{np} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - P_{np}}; \quad (3.3)$$

$$S_{\kappa} = \frac{0,41 \cdot 0,6}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,41} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки [13]:

$$S \geq S_{\kappa} + C, \quad (3.4)$$

де  $C$  – загальне значення прибавки, яка складається зі складових:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.5)$$

де  $C_1$  – прибавка на корозію і ерозію, при проникності  $\Pi = 0,1$  мм/рік та терміні служби колони  $\tau = 10$  років складе

$$C_1 = \Pi \cdot \tau = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм};$$

$C_2$  – прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;

$C_3$  – технологічна прибавка, яка враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

Прибавки  $C_2$  і  $C_3$  враховуються лише в тому випадку, коли сума їх перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Отже:

$$C = 1,0 + 0 + 0 = 1,0 \text{ мм};$$

$$S = 0,0009 + 0,001 = 0,0019 \text{ м.}$$

Приймаємо  $S = 4 \text{ мм}$ .

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}; \quad (3.6)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0,9 \cdot (0,0041 - 0,001)}{1 + (0,0041 - 0,001)} = 0,85 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується:

$$P < [P]: 0,41 \text{ МПа} < 0,85 \text{ МПа.}$$

### 3.2 Розрахунок товщини стінки кришки (днища) апарату

Номінальна товщина стінки еліптичної кришки (днища), навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_R = \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - 0,5 \cdot P_p}, \quad (3.7)$$

де  $R = D$  (для еліптичних днищ) – радіус кривизни у вершині днища [12].

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$S_R = \frac{0,41 \cdot 0,6}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,41} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Загальне значення прибавки до товщини стінки кришки (днища) складе:

$$C = 1,0 + 0 + 0 = 1,0 \text{ мм;}$$

$$S = 0,0009 + 0,001 = 0,0019 \text{ м.}$$

Також приймаємо  $S = 4 \text{ мм.}$

### 3.3 Розрахунок опори апарату

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору за формулою:

$$Q_{an} = M_{an} \cdot g, \quad (3.8)$$

де  $M_{an}$  – маса порожнього апарату, кг;

$$M_{an} = M_{\kappa} + M_{\text{дн}} + M_{\text{кр}} + M_m + M_{\text{фл}}, \quad (3.9)$$

де  $M_{\kappa}$ ,  $M_{\text{дн}}$ ,  $M_{\text{кр}}$ ,  $M_m$ ,  $M_{\text{фл}}$  – відповідно маси корпусу, днища, кришки, тарілок, фланців і арматури, кг.

Маса циліндричного корпусу становить:

$$M_{\kappa} = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho, \quad (3.10)$$

де  $\rho$  – щільність матеріалу корпусу;  $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$ .

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_k = 9,7 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 570 \text{ кг.}$$

Маса еліптичної кришки (днища):

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = F \cdot s \cdot \rho, \quad (3.11)$$

де  $F=0,79 \text{ м}^2$  – площа внутрішньої поверхні еліптичної кришки (днища).

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 0,79 \cdot 0,004 \cdot 7800 = 25 \text{ кг.}$$

Маса контактних тарілок:

$$M_m = N_\delta \cdot m_m, \quad (3.12)$$

де  $m_m = 36,3 \text{ кг}$  – маса тарілки ТСК-1 діаметром 600 мм.

$$M_m = 16 \cdot 36,3 = 580 \text{ кг.}$$

Сумарну масу фланців і арматури приймемо рівною  $M_{\text{фл}} = 1000 \text{ кг}$ .

Таким чином, маса порожнього апарату складе:

$$M_{\text{ан}} = 570 + 2 \cdot 25 + 580 + 1000 = 2200 \text{ кг.}$$

Вага порожнього апарата складе:

$$Q_{\text{ан}} = 2200 \cdot 9,81 = 21582 \text{ Н.}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

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

$$Q_{an}^g = (M_{an} + M_g) \cdot g, \quad (3.13)$$

де  $M_g$  – маса залитої в апарат води, кг.

$$M_g = V \cdot \rho_g, \quad (3.14)$$

де  $V$  – об'єм апарату, м<sup>3</sup>:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 9,7 = 2,74 \text{ м}^3;$$

$$M_g = 2,74 \cdot 1000 = 2740 \text{ кг.}$$

Вага апарату під час його гідравлічних випробувань:

$$Q_{an}^g = (2200 + 2740) \cdot 9,81 = 48461 \text{ Н.}$$

Вибираємо за [12] циліндричну опору другого типу.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		44

## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж апарата [13]

При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається із блоків, а потім приварюється опора. Частини апарата, що стикуються, підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок (див. рис. 4.1), які після прихватки стику короткими звареними швами зрізають газокисневим різанням.

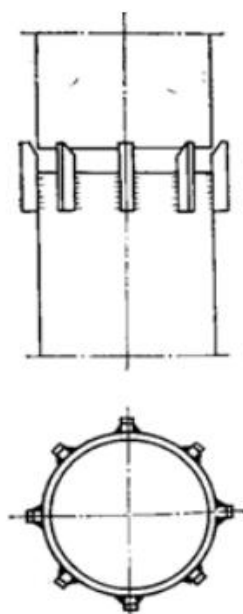


Рисунок 4.1 – Стиковка обичайок

Стиковку роблять за заводськими контрольними рисками, нанесеними на корпусах. Відхилення розмірів ділянок, що стикуються, повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромки в кільцевих швах не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарата, а у разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини шару.

У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		45

зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. 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 повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

Тарілка – контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. 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 апарата (рис. 4.2).

При горизонтальному положенні апарата тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°.

Значно легше забезпечити строго горизонтальне положення тарілок в уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарата. У цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

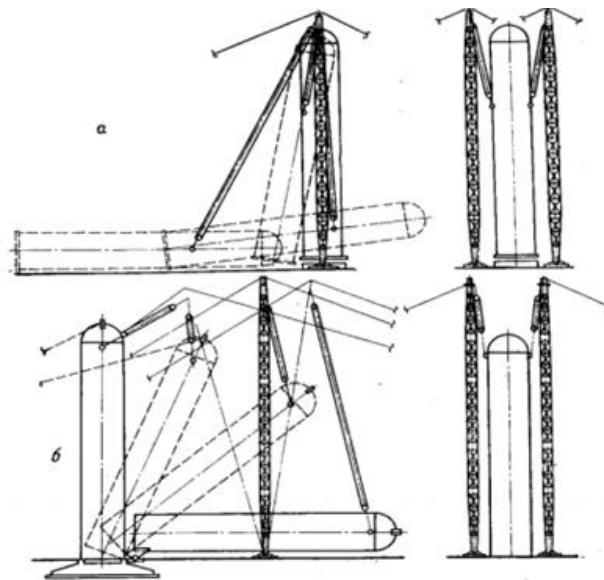


Рисунок 4.2 – Способи підйому колонного апарата:

а – способом ковзання опорної частини; б – поворотом навколо шарніра

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз’ємних деталей (карманів, зливів, дисків, глухих сегментів). Зварювання проводять у відповідності до технічних умов, і з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання. Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж. Для цього закриваються всі люки, розташовані нижче контрольованої тарілки, тарілка заливається водою, 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 гідро затворів за допомогою компресора нагнітається повітря. Рівномірність барботажа контролюється візуально.

#### 4.2 Ремонт апарата [13, 14]

Перед початком ремонту працівники технологічного цеху (оператори) виконують підготовчі роботи. Потім до роботи приступає ремонтний персонал виконавця ремонтних робіт (слюсарі-ремонтники). Як правило, при ремонті

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

колонних апаратів із внутрішніми пристроями тарільчатого типу передбачаються наступні роботи:

– приймання колони в ремонт за актом представником ремонтної організації (майстром ремонтно-механічної бригади).

– перед тим, як безпосередньо приступити до ремонту, необхідно отримати інструктаж з охорони праці, техніки безпеки, газобезпеки, пожежної безпеки і оформити наряд допуску на проведення газонебезпечних робіт всередині колонного апарата.

– керівник ремонтного підрозділу (майстер РМЦ) повинен ознайомитися з результатами підготовчих робіт до ремонту колони або в цілому установки, зазначених в наряді допуску.

– отримати дозвіл особи, відповідальної за організацію безпечного проведення газонебезпечних робіт в цеху (начальника або заступника начальника цеху) і приступити до виконання ремонтних робіт.

– відкриття люків-лазів проводять, починаючи із верхнього, а далі послідовно зверху вниз. Забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки-лази, щоб уникнути підсосу повітря в колону і займання пароповітряної суміші.

– працівниками технологічного цеху проводиться відбір проб повітря з усіх люків колони. Результати аналізів на вміст вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних речовин, і на вміст кисню записуються в наряді допуску.

– перед початком ремонту перевіряють температуру повітряного середовища всередині колони, яка не повинна перевищувати 30°C. Під час очистки і розбирання тарілок в колоні працює по двоє людей в кожному люку: один всередині колони у шланговому протигазі з рятувальним поясом і сигнально рятувальною мотузкою; другий спостерігаючий дублер: зовні, поруч із люком, зі шланговим протигазом.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Очищення стінок міжтарілкового простору, опорних конструкцій тарілок, зливних карманів і стінок кубової частини колони роблять за допомогою металевих скребків і щіток, а також за допомогою механізованих пристосувань і інструментів. Відкладення і бруд видаляють з колони дерев'яними лопатами через люк-лаз і спускають їх в цеберку зі спеціальними жолобами.

Тарілки розбирають в кожному люку послідовно, починаючи з верхньої. Повне розбирання усіх тарілок роблять по секціях (сегментам). Спуск секцій тарілок проводиться за допомогою кран-укосини.

Чистку тарілок проводять на зовнішньому майданчику в захисних окулярах за допомогою металевих скребків і щіток.

Одночасно проводять продування секцій парою і відбраковування дефектних деталей тарілок шляхом легкого обстукування молотком вагою від 0,5 до 1 кг.

Після очищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляються заново і збираються. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, оскільки якщо ці деталі не будуть на одній осі – правильне встановлення ковпачка є неможливим. Співвісність деталей забезпечується спеціальною оправкою, яка дозволяє також змінювати висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки.

При ремонті корпусу колони керуються стандартами, відповідно до яких розробляється технологія усунення дефектів корпусу і його покриття. Ремонт опорних конструкцій тарілок, зливних карманів вогневими методами із використанням ручного дугового електрозварювання (РДЕЗ) і газозварювання проводять після оформлення дозволу на проведення вогневих робіт усередині апарата, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і наряду-допуску на проведення робіт підвищеної небезпеки на кожен робочу зону, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони.

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

встановлюються нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Тип зварювання – встик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки її зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні. Число та перетин стійок, розміри опорних лап розраховують, виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами.

Збірку тарілок проводять аналогічно розбиранню, у зворотному порядку, знизу-вгору. При складанні тарілок контролюють горизонтальність установки тарілок за шаблоном або за допомогою лінійки і рівня. Відхилення від горизонтальності має бути в допустимих межах, визначених індивідуально для кожного типу тарілок.

Після закінчення встановлення тарілок і ремонту колони, якість проведених ремонтних робіт перевіряє представник адміністрації цеху, відповідальний за проведення ремонту (старший механік цеху, заступник начальника цеху з ремонту). Після цього з колони прибирають сторонні предмети, матеріали, інструменти, пристосування і закривають люки-лази. Люки-лази закривають знизу-вгору, починаючи з нижнього.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		50

## 5 Охорона праці

### Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом.

Залежно від умов, що підвищують або знижують небезпеку ураження людини електричним струмом, відповідно до ТКП 339-2011 або ПУЕ-7, усі приміщення діляться на 3 групи [15]:

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні приміщення.

1. Приміщення з підвищеною небезпекою – приміщення характеризуються наявністю у них одного із таких умов, що створюють підвищену небезпеку [15]:

- вогкість (сирі приміщення) або струмопровідний пил (пилові приміщення);
- струмопровідні підлоги (металеві, земляні, залізобетонні, цегляні тощо);
- висока температура (жаркі приміщення);
- можливість одночасного дотику людини до металоконструкцій будівель, у яких з'єднання із землею, технологічним апаратам, механізмам і т. п., з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання (відкритих провідних частин), з іншого.

2. Особливо небезпечні приміщення – характеризуються наявністю однієї із наступних умов, що створюють особливу небезпеку [15]:

- особлива сирість (особливо сирі приміщення);
- хімічно активне або органічне середовище (приміщення з хімічно активним чи органічним середовищем);
- одночасно два або більше умов підвищеної небезпеки.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		51



агресивні пари, гази, рідини, утворюються відкладення або цвіль, що руйнують ізоляцію і струмоведучі частини електрообладнання;

- нормальними називаються приміщення, в яких відносна вологість повітря не перевищує 60 %, відсутня хімічно активне або органічне середовище, температура не перевищує постійно або періодично (більше 1 доби)  $+35^{\circ}\text{C}$ , а також за умовами виробництва не виділяється технологічний пил, який може осідати на струмоведучих частинах, проникати всередину машин, апаратів тощо.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53



