

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
Кафедра хімічної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

## Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"  
освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг  
обладнання хімічних виробництв"

Тема роботи: Ректифікаційна установка у виробництві  
бензолу. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконав:

студент групи ХМ-91/Зкі-1

Москальчук Олексій Михайлович

\_\_\_\_\_  
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Скиданенко Максим Сергійович

\_\_\_\_\_  
підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра «Хімічної інженерії»

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
Курс 4      Група ХМ-91/3кі-1      Семестр 7

## ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Студенту Москальчуку Олексію Михайловичу

**1 Тема роботи:** Ректифікаційна установка у виробництві бензолу.  
Розробити тарілчасту ректифікаційну колону.

**2 Вхідні дані:** Тарілчаста ректифікаційна колона для розділення суміші ацетон – бензол. Вихідні дані: витрата початкової суміші 4750 кг/год; вміст легколетючого компонента (у % мол.) у початковій суміші – 24%; у дистилаті – 93%; у кубовому залишку – 3%; тиск в апараті 1 ат; контактні пристрої – ковпачкові тарілки, контактні пристрої – ковпачкові тарілки.

**3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (Аркуш А1):**

- 1) Складальне креслення колони ректифікації – 1 арк.
- 2) Складальне креслення царги куб/тарілки ковпачкової – 1 арк.
- 3) Технологічна схема ректифікаційної установки – 1 арк.

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

**5 Етапи виконання курсового проекту:**

Етапи та розділи проектування	Тижні					
	1,2	3-6	7-9	10-13	14	15
1 Вступ	xx					
2 Проектні розрахунки		xxxx				
3 Розрахунки апарата на міцність			xxx			
4 Розробка креслень				xxxx		
5 Оформлення записки					x	
6 Захист проекту						x

**6 Дата видачі завдання** \_\_\_\_\_ 2023р.

Керівник \_\_\_\_\_  
підпис викладача

ст. викл. к.т.н. Скиданенко М.С.  
посада, прізвище та ініціали

## Зміст

ВСТУП.....	3
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	6
1.1 Опис технологічної схеми установки.....	6
1.2 Теоретичні основи розроблюваного процесу.....	8
1.3 Основний принцип роботи апарата та обґрунтування вибору конструкції.....	15
1.4 Порівняння конструкції проєктованого апарата з аналогами.....	20
1.5 Вибір конструкційних матеріалів.....	25
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТА.....	34
2.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки.....	35
2.1.1 Побудова кривої рівноваги фаз в координатах $x - y$ .....	41
2.1.2 Робочі лінії процесу ректифікації.....	45
2.1.3 Фізико-хімічні властивості парової і рідкої фаз для верху і низу колони.....	50
2.2 Розрахунок теплового балансу ректифікаційної колони.....	58
2.3 Визначення коефіцієнтів масопередачі.....	62
2.4 Конструктивні розрахунки апарату.....	68
2.4.1 Визначення діаметру колони.....	68
2.4.2 Визначення ККД ковпачкових тарілок для вибраного діаметру колони.....	70
2.4.3 Визначення дійсного числа тарілок.....	72
2.4.4 Розрахунок висоти колони.....	72
2.4.5 Розрахунок діаметра штуцерів.....	73
2.5 Гідравлічний опір апарата.....	75
2.5 Вибір допоміжного обладнання.....	81
2.5.1 Розрахунок кип'ятильника-випарника.....	81
2.5.2 Розрахунок дефлегматора [13].....	81
2.5.3 Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші.....	82

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Москальчук</i>				<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>	<i>Скиданенко</i>						1	127
<i>Н. контр.</i>					<i>ХМ-91/Зкі-1</i>			
<i>Затв.</i>	<i>Острога</i>							

3.	РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ .....	83
3.1	Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки апарату.....	83
3.1.1	Розрахунок допустимих напружень.....	83
3.1.2	Розрахунок товщини стінки обичайки.....	84
3.1.3	Розрахунок товщини стінки еліптичного днища.....	87
3.2	Розрахунок вагових характеристик і вибір опори.....	89
3.3	Розрахунок на вітрове навантаження.....	93
3.4	Розрахунок опори апарату.....	96
3.5	Розрахунок фланцевого з'єднання.....	101
3.6	Зміцнення отворів.....	102
4.	МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТА.....	104
4.1	Монтаж розробленого апарата.....	104
4.2	Організація ремонтних робіт.....	108
4.2.1	Ремонт розробленого апарата.....	114
5.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....	118
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	125
	Додаток А - Розрахунок фланцевого з'єднання за допомогою програмного забезпечення	
	Додаток Б - Специфікація	

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Москальчук</i>			<i>Пояснювальна записка</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перев.</i>		<i>Скиданенко</i>					1	127
<i>Н. контр.</i>					<i>Ректифікаційна колона</i>	<i>ХМ-91/Зкі-1</i>		
<i>Затв.</i>		<i>Острога</i>						

## ВСТУП

Хімічне машинобудування – це одна з найважливіших галузей економіки країни. Хімічна промисловість випускає величезну кількість різних видів машин і апаратів. Для того, щоб хімічна промисловість держави була конкурентоспроможною, вони повинні випускати товари і вироби з високими техніко-економічними показниками, тобто товари повинні мати низьку ціну, високу якість і довговічність.

У зв'язку з цим важливе значення набуває розробка нових прогресивних конструкцій машин і апаратів виробництва, використання сучасних технологій, чому сприяють його правильний розрахунок і конструювання.

Також для конкурентоспроможності хімічної промисловості її необхідно забезпечити відповідним хімічним устаткуванням яке повинно задовольняти вимогам хімічного виробництва в надійності експлуатації, мало достатньо великий термін служби і забезпечувало механізацію технологічних процесів [1].

Колони є основним типом масообмінного обладнання хімічних, нафтохімічних, харчових, фармацевтичних та інших виробництв.

У колонних апаратах проводяться такі найважливіші масообмінні процеси як адсорбція, десорбція, ректифікація, екстракція та ін.

Головною умовою роботи масообмінних колонних апаратів є ефективна взаємодія фаз, що визначається величиною створюваної поверхні контакту фаз та гідродинамічних умов їх взаємодії.

У ряді виробництв хімічної, нафтової та інших галузей промисловості внаслідок різних технологічних процесів одержують суміші рідин, які необхідно розділити на складові.

Для поділу сумішей рідин і зріджених газових сумішей у промисловості застосовують способи простої перегонки (дистиляції), перегонки під вакуумом і з водяною парою, молекулярної перегонки та ректифікації. Поділ рідких однорідних бінарних або багатоконпонентних розчинів та газових сумішей на індивідуальні практично чисті компоненти або їх фракції методами ректифікації широко застосовується як основний технологічний процес у

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

*багатьох виробництвах хімічної та нафтопереробної галузей промисловості [2].*

*Використання процесів багаторазової дистиляції є енергетично невигідним і не дозволяє розділити навіть бінарні розчини на практично чисті індивідуальні компоненти. Більш сучасним у багатьох відношеннях (у технологічному, апаратурному, енергетичному та ін.) є метод багаторазової дистиляції в одному апараті, що одержав назву ректифікації [3].*

*Процес ректифікації призначений для поділу рідких сумішей на практично чисті компоненти або фракції, що відрізняються температурою кипіння.*

*Ректифікація заснована на використанні індивідуальних властивостей компонентів, що входять до складу розчину та відрізняються фізико-хімічними властивостями.*

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

*Все більшого поширення в нафтопереробній промисловості набувають тарілчасті колони з клапанними тарілками, основними перевагами яких менше металоємність і вартість виготовлення (на 30–40% в порівнянні з ковпачковими тарілками), більш високий діапазон зміни навантажень по газовій фазі (майже в 4 раз більше щодо мінімального), висока ефективність масопереносу (ККД тарілок досягає 80–85%) в широкому інтервалі навантажень, низький гідравлічний опір в порівнянні з шлицевими тарілками [2, 4].*

*Відповідно до завдання, в дипломному проекті розроблена конструкція ректифікаційної колони безперервної дії та проведені наступні розрахунки:*

*1. Технологічна частина: було розглянуто будову і принцип роботи апарату та порівняння конструкції з аналогами; Обґрунтування вибору конструкції. Вибрані матеріали для виготовлення з обґрунтуванням їх корозійної стійкості.*

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		4

2. *Технологічні розрахунки процесу та апарату:* було розраховано матеріальний та тепловий баланс ректифікаційної колони; конструктивні розрахунки апарату: визначено габаритні і основні розміри основних елементів апарату та був проведений розрахунок на гідравлічний опір апарата.

3. *Розрахунки апарату на міцність:* де було розраховано товщину стінки апарату, вітрове навантаження, вибір опори; був проведений розрахунок фланцевого з'єднання на міцність та герметичність за допомогою сучасного програмного забезпечення.

4. *Монтаж та ремонт апарата.*

5. *Охорона праці.*

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Схема розроблювальної ректифікаційної установки представлена на рис. 1.1.

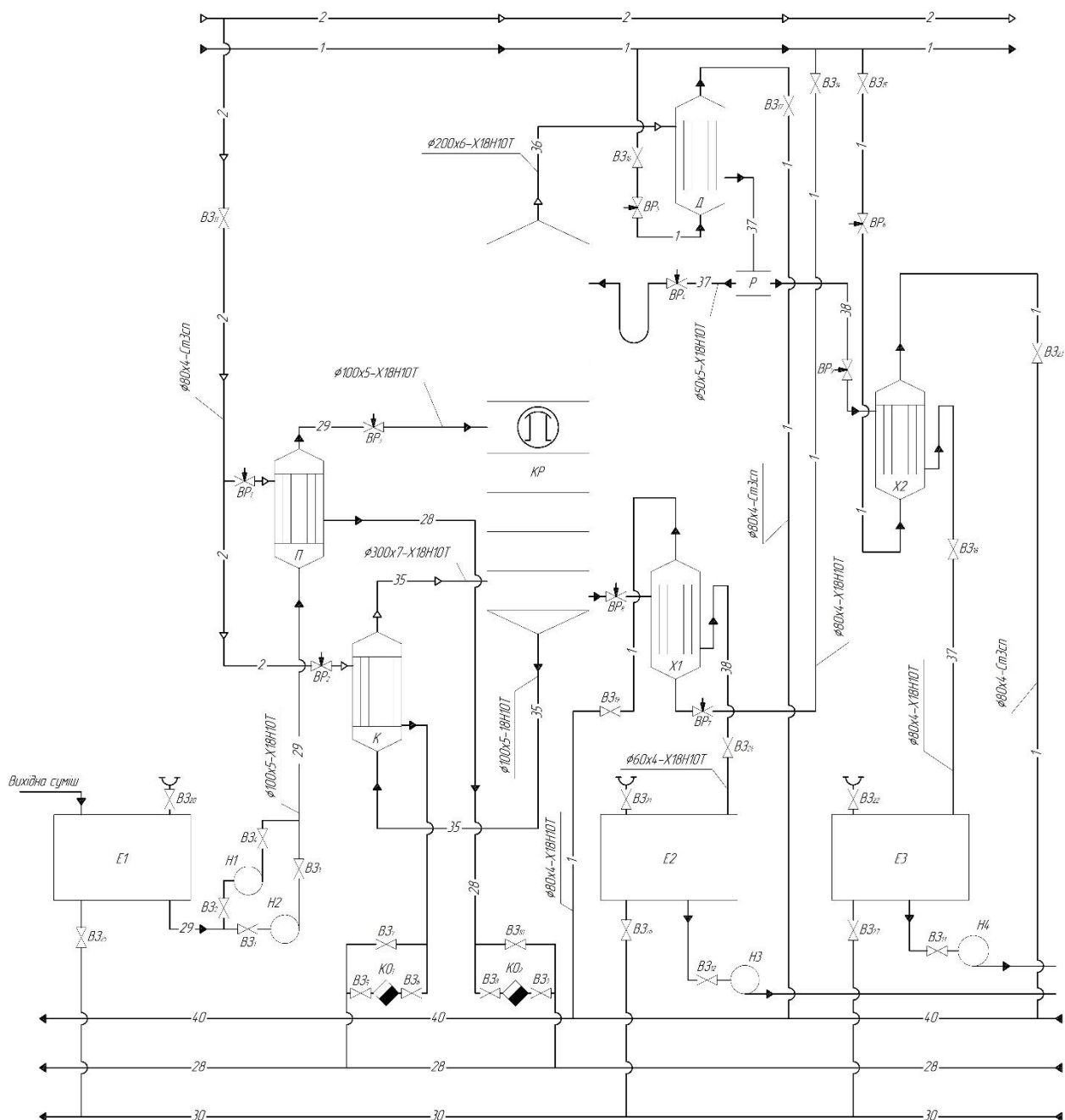


Рисунок 1.1 – Принципова схема ректифікаційної установки:

КР – колона ректифікаційна; Д – дефлегматор; К – кип'ятильник;

П – підігрівач; X1-2 – холодильник; E1-3 – ємність;

Р – розподільвач; H1-4 – насос; BP<sub>1-9</sub> – вентиль регулюючий;

BZ<sub>1-9</sub> – вентиль запорний; КО<sub>1-2</sub> – конденсатовіддійник.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ХІ.Р.00.00.00 ПЗ

Лист

6



Вихідна суміш надходить до ємності 1 (E1), потім за допомогою відцентрового насосу Н1 (резервний) або Н2 вихідна суміш надходить до підігрівача (П), де вона підігрівається до температури кипіння за допомогою пару. Нагріта суміш надходить на поділ в колону ректифікації на ковпачкові тарілки та стікає в низ по тарілках. Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з підіймаючимся вгору паром, що утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику (К).

У результаті цього в колоні на кожній тарілці відбувається масообмін, тобто відбувається багаторазове випаровування та конденсація компонентів. Оскільки ацетон ЛК компонент, то він має температуру кипіння нижчу, то в результаті він випаровується та його пари піднімаються у гору колони та направляються в дифузгматор Д там відбувається конденсація парів, після чого вони направляються в розподільник, тоді частина дистиляту у вигляді флегми повертається в колону через розподільник Р, а частина конденсату у вигляді готового продукту поділу – тобто дистилята надходить до холодильника Х2, де вона охолоджується і направляється в ємність 3.

Бензол (ВКК) має більшу температуру кипіння, то він конденсується і поступово стікає до низу колони у кубову частину, після чого поступає в холодильник Х1, де охолоджується і кубова рідина надходить до ємність 2. Після чого насоси Н3 та Н4 направляють кубовий залишок та дистилят на склад.

Таким чином, в ректифікаційній колоні здійснюється безперервний неврівноважений процес поділу вихідної бінарної суміші на дистилят (з високим вмістом легколетучого компонента) і кубовий залишок (збагачений важколетучим компонентом).

Температура колони зменшується з низу до гори, тобто чим вище тим нижче температура.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

## 1.2 Теоретичні основи розроблюваного процесу

Процеси ректифікації засновані на тепло-та масообмінній взаємодії між паровою та рідкою фазами компонентів, що входять до бінарного розчину.

Розрізняють суміші з двох компонентів (бінарні), багатоконпонентні та складні (безперервні). До складних сумішей відносяться нафта та її фракції [2].

Ректифікація – масообмінний процес поділу рідких сумішей взаємно розчинних компонентів, що різняться по температурах кипіння, який здійснюється шляхом протиточного, багаторазового контактування нерівноважних парових і рідких фаз [5].

Фізична сутність процесу ректифікації полягає у двосторонньому масо-та теплообміні між нерівноважними потоками пари та рідини при високій турбулізації поверхні контактуючих фаз. В результаті масообміну пара збагачується низькокиплячими, а рідина – висококиплячими компонентами. При певному числі контактів можна отримати пари, що складаються здебільшого з низькокиплячих, а рідина – з висококиплячих компонентів.

При ректифікації взаємодіють дві фази – рідка і парогазова, які мають різні склади і температури. Пар має більшу високу температуру, ніж рідина, що вступає з ним в контакт. Між ними здійснюється багаторазовий протиточний тісний контакт на спеціальних обладнаннях (тарілках або насадці) різної конструкції. Завдяки тісному контакту між рідкою і парогазовою фазами молекули з однієї фази переходять в іншу [2].

Схема протитечійної взаємодії потоків пари і рідини на тарілках ректифікаційної колони показана на рис. 1.2. На рис. 1.2 показаний хід процесів фазового переходу (випаровування і конденсації) на тарілках ректифікаційної колони в координатах діаграми температура – концентрація ( $T - X - Y$ ) при певному тиску.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

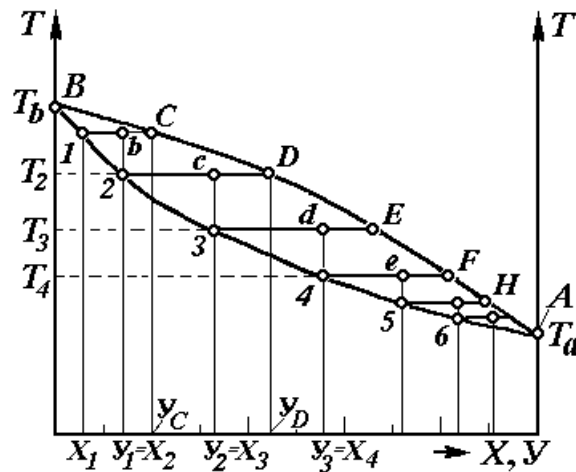


Рисунок 1.2 – Ректифікація бінарної суміші:

*a* – схема процесів конденсації – випарювання на тарілках ректифікаційної колони; *b* – хід процесів на тарілках у діаграмі  $T - X - Y$ .

Потоки:  $L$  – рідка фаза;  $G_n$  – парова фаза;  $W$  – кубовий залишок;  
 $Q$  – теплоносії [3].

В результаті такої взаємодії за досить великого часу контакту пар і рідина можуть досягти стану рівноваги, коли кількість молекул, що переходять із однієї фази в іншу за одиницю часу, стане рівним числу молекул, що вертаються в дану фазу. Тоді склад фаз залишиться незмінним. Тоді температури потоків стануть однаковими; їх склади будуть пов'язані рівняннями рівноваги. Така схема взаємодії потоків відома як "теоретична тарілка" або "теоретичний ступінь контакту". Для порушення стану рівноваги необхідно змінити в системі або тиск, або температуру, або склад фаз.

В результаті порушення умов рівноваги в розчині під впливом колони температури, що змінюється по висоті, легколетючий компонент з рідини випаровується і переходить у парову фазу, а важколетючий компонент з парової фази конденсується і переходить в рідку фазу [6].

У реальних умовах рівновага тих, що йдуть з контактної зони потоків пари і рідини може не досягатися, у зв'язку з чим ці потоки матимуть різну температуру, а їх склади будуть визначатися не тільки рівняннями рівноваги, але й складнішими залежностями [7].

Для простої колони ректифікації можна записати рівняння матеріальних балансів щодо потоків:

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

а також щодо масових витрат компонентів дінарної суміші, що розділяється:

$$G_{\text{ЛЛК}} = G_f x_f = G_d x_d + G_w x_w, \quad (1.2)$$

$$G_{\text{ВЛК}} = G_f \cdot (1 - x_f) = G_d \cdot (1 - x_d) + G_w \cdot (1 - x_w), \quad (1.3)$$

де  $G_f$ ,  $G_d$ ,  $G_w$  – масова (або молярна) витрата початкової суміші, дистилляту і кубової рідини відповідно, кг/с або кмоль/с;

$G_{\text{ЛЛК}}$ ,  $G_{\text{ВЛК}}$  – масова (молярна) витрата легколетучого компонента (ЛЛК) і важколетучого компонента (ВЛК) в початковій суміші відповідно, кг/с або кмоль/с;

$x_f$ ,  $x_d$ ,  $x_w$  – концентрація ЛЛК в початковій суміші, в дистилляті і в кубовому залишку відповідно, мас. (мол.) частки.

Вирішивши рівняння (1.2) і (1.3) сумісно, одержано вихід продуктів розділення щодо початкової дінарної суміші:

$$\text{– по дистилляту: } G_d = G_f \cdot (x_f - x_w) / (x_d - x_w), \quad (1.4)$$

$$\text{– по кубовому залишку: } G_w = G_f \cdot (x_d - x_f) / (x_d - x_w) \quad (1.5)$$

Отже, для верхньої частини колони можна записати рівняння матеріального балансу, що зв'язує між собою масові витрати потоків пари і рідини:

$$G_p = G_d + L, \quad (1.6)$$

де  $G_d$  – масова витрата продукту, який одержується – дистилляту, кг/с (кмоль/с);

$L$  – масова витрата флегми.

У технологічних розрахунках зручніше представляти масові витрати фаз по відношенню до кількості дистилляту, що відводиться, при цьому відношення  $L/G_d = R$  – називають флегмове число, що показує скільки кіломолей флегми повертається в колону на зрошення по відношенню до одного кіломоля дистилляту, що відводиться. Флегмове число показує, яка маса флегми повертається в колону на зрошення відносно одиниці маси

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

дистиляту, що отримують в колоні.

$$y_1 = (1/1 + R) \cdot x_1 + x_d/1 + R \quad (1.7)$$

Залежність (1.7) називають рівнянням робочої лінії верхньої частини ректифікаційної колони. Це рівняння встановлює зв'язок поточних концентрацій ЛКК в паровій і рідкій фазі по висоті колони і виражається прямою лінією з кутовим коефіцієнтом  $m_b = 1/(1 + R)$ , яка відсікає на осі ординат відрізок  $b_b = x_d/(1 + R)$ .

Так само складено рівняння матеріального балансу нижньої частини колони:

$$G_p \cdot (y_2 - y_w) = (G_f + L) \cdot (x_2 - x_w) \quad (1.8)$$

де  $G_f$  – масова витрата початкової суміші, що поступає в колону;

$G_p$  – масова витрата пари в нижній частині колони;

$y_2, x_2$  – поточні концентрації ЛКК в паровій і рідкій фазі відповідно;

$y_w, x_w$  – рівноважні концентрації ЛКК в паровій і рідкій фазі в кубовій частині колони, звичайно в розрахунках допускають  $y_w = x_w$ .

Одним з основних допущень, вживаних при розрахунку ректифікаційних колон, є припущення про постійність витрати молярної маси пари, що підіймається по колоні, в будь-якому її перерізі і отже  $G_p = (G_d + L)$ .

Крім того, рівняння матеріального балансу можна представити з розрахунку на один кіломоляр одержуваного дистиляту, при цьому відношення  $G_f/G_d = F$  називають числом живлення, що показує масу початкової суміші одиниці маси дистиляту, що витрачається для отримання.

Приймаючи  $y_w = x_w$  і, після відповідної заміни, щодо поточної концентрації ЛКК в паровій фазі відгінної колони, одержимо:

$$y_2 = (F + R/1 + R) \cdot x_2 - (F - 1) \cdot x_w/1 + R \quad (1.9)$$

Залежність (1.9) називають рівнянням робочої лінії нижньої частини ректифікаційної колони, що відображає взаємозв'язок поточних концентрацій речовини у фазах з питомими витратами парової і рідкої фази.

На базі рівнянь (1.7) і (1.9), можна побудувати робочі лінії процесу, використовуючи діаграму рівноваги  $y-x$  для бінарного розчину (рисунок 1.3).

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

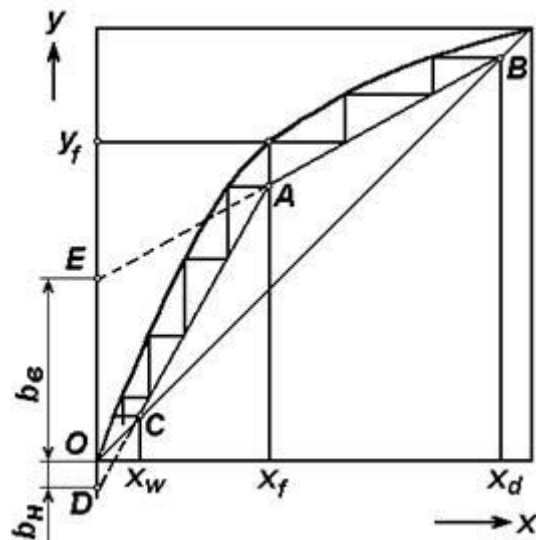


Рисунок 1.3 – Побудова робочих ліній ректифікаційної колони:

*AB* – робоча лінія укріплюючої частини колони; *AC* – робоча лінія вичерпної частини колони [3].

Сукупність речовин, що перебувають у кожному окремому апараті, називається системою. Розрізняють системи гомогенні (однорідні) і гетерогенні (різнорідні).

Гомогенною називається така система, яка на всьому своєму протяжі (у повному обсязі) не має поверхонь розділу і у кожній своїй частині має ідентичні фізичні властивості і хімічним складом.

Гетерогенної називається система, що полягає із частин, що володіють різними фізичними і, можливо, різними хімічними властивостями, причому ці частини відділені друг від друга обмежувачими поверхнями. Гетерогенна система складається із частин, кожна з яких є гомогенною і відділена від інших частин обмежувачими поверхнями. Ці гомогенні фізично різні і механічно віддільні частини називаються фазами.

У ректифікаційній колоні є дві фази – рідкі нафтопродукти і їх пари (іноді разом з водяною парю). Фаза повинна бути фізично і хімічно гомогенною, але не обов'язково хімічно простію [2].

Процес ректифікації може здійснюватися за періодичною та безперервною схемами.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист 12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

При періодичній ректифікації суміш поділяють на окремі компоненти (або фракції, що киплять у певному інтервалі температур) шляхом послідовного їх відбору при робочих параметрах процесу, що змінюються в часі.

Ректифікація за безперервною схемою дозволяє одночасно отримувати два або більше продуктів за стаціонарних умов процесу [7].

Поділ рідкої суміші заснований на різній леткості речовин. При ректифікації вихідна суміш ділиться на дві частини: дистилят – суміш, збагачену низькокиплячим компонентом (НКК), і кубовий залишок – суміш, збагачену висококиплячим компонентом (ВКК) [5].

Частина колони, що служить для виділення низькокиплячих компонентів (НКК), називається концентраційною, або зміцнюючою, інша частина, в якій виділяються висококиплячі компоненти (ВКК), називається вичерпною або відгінною. Між цими основними частинами колони є місце введення сировини (тарілка харчування, секція харчування, евапораційний простір) [7].

Процес ректифікації здійснюють в установці ректифікації, що включає ректифікаційну колону, дефлегматор, холодильник-конденсатор, підігрівач вихідної суміші, збірники дистиляту і кубового залишку. Основним апаратом установки є колона ректифікації, в якій пари рідини, що переганяється, піднімаються знизу, а назустріч парам зверху стікає рідина, що подається у верхню частину апарату у вигляді флегми [5].

Для утворення парів нижній елемент колони забезпечують гріючими пристосуваннями у вигляді зміювиків або трубчаток, в які і підводять необхідну кількість тепла, в більшості випадків з водяною парою, що гріє [6].

У більшості випадків кінцевими продуктами є дистилят (сконденсовані в дефлегматоре пари легколетючого компонента, що виходять з верхньої частини колони) і кубовий залишок (менше леткий компонент у рідкому вигляді, що впливає з нижньої частини колони), який, як і дистилят, може бути кінцевим продуктом перегонки.

Рідина, що надходить на зрошення колони, називають флегмою; її отримують шляхом конденсації парів, що піднімаються з верхньої частини колони, в спеціальних конденсаторах-дефлегматорах [8].

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Процес ректифікації здійснюється у колонних апаратах тарілчастого чи насадкового типу. На кожному щаблі контакту (тарілці або шарі насадки) відбувається конденсація парів, що надходять з нижчої тарілки, за рахунок тепла конденсації рідина, що знаходиться на тарілці, закипає і виділяє пари, збагачені НКК (низькокиплячий компонент) і піднімаються на лежачу вище тарілку. Здійснюючи на тарілках багатоступінчастий тепло-і масообмінний протиточний контакт між парами, що піднімаються знизу вгору по колоні, і рідиною, що стікає зверху вниз, реалізують процес поділу вихідної суміші на окремі практично чисті компоненти або фракції з близькими температурами кипіння компонентів.

Ступінь поділу суміші рідин на складові компоненти і чистота одержуваних дистиляту і кубового залишку залежать від того, наскільки розвинена поверхня контакту фаз, кількості подається на зрошення флегми і пристрою ректифікаційної колони [5].

Спадний потік рідини в колоні можна створити також шляхом відібрання певної кількості тепла на верху колони й конденсації частини пари над першою тарілкою колони в спеціальному (парціальному) конденсаторі: таке зрошення колони називається гарячим [2].

Процес ректифікації може протікати при атмосферному тиску, а також при тиску вище і нижче атмосферного. Під вакуумом ректифікацію проводять, коли поділу підлягають рідкі суміші, що високо киплять. Підвищений тиск застосовують для поділу сумішей, що знаходяться в газоподібному стані при нижчому тиску. Атмосферний тиск приймають при розподілі сумішей, що мають температуру кипіння від 30 до 150 °C [5].

Основна важлива відмінність процесу ректифікації від процесу адсорбції полягає в тому, що процеси обміну речовиною, випаровування, конденсація та зустрічна дифузія між фазами відбуваються безперервно на кожному контактному елементі колони ректифікації [8].

Тотму, у нафтопереробній промисловості переважно застосовують ректифікаційні колони безперервної дії [7].

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		14



### 1.3 Основний принцип роботи апарата та обґрунтування вибору конструкції

Ректифікаційна колона являє собою вертикальний циліндричний апарат, що закритий зверху кришкою і знизу днищем. По висоті колони на певній відстані одна від другої встановлені масообмінні контактні пристрої – тарілки, або колона заповнена насадкою.

Колона безперервної дії звичайно складається із двох частин: верхньої – зміцнювальної (концентраційної) 1 і нижньої – вичерпної (відгінної) 2 (див. рис. 1.4).

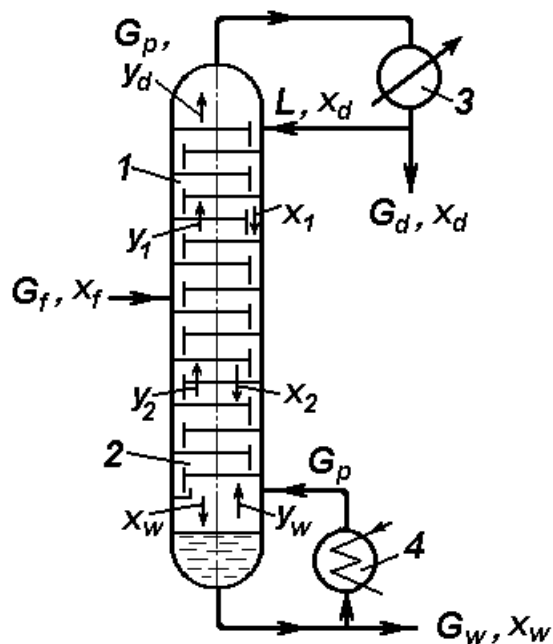


Рисунок 1.4 – Схема роботи ректифікаційної колони для розділення бінарної суміші:

1 – верхня (концентраційна) частина колони; 2 – нижня (відгінна) частина колони; 3 – конденсатор-дефлегматор; 4 – кип'ятильник-випарник.

В ректифікаційній колоні створюються два зустрічних потоки – потік піднімаючою вгору пари (подається у патрубок Д) і потік стікаючої назустріч їм рідини (подається у патрубок В).

Вихідний потік газу (пари) надходить в апарат знизу, розподіляється по контактних елементах тарілки. На тарілках колони завжди є шар флегми. Так як флегма кілька холодніше парів, пар барботуючи через шар рідини,

охладжуються і частково конденсуються. В процесі конденсації пари виділяється певна кількість теплоти. Крім того, дно кожної тарілки обігрівається парами нижчезрозташованої тарілки. За рахунок цього тепла флегма нагрівається і кипить (див. рисунок 1.5).

При малих швидкостях потік газу через парові патрубки надходить під ковпачки, через прорізи ковпачків газ диспергується на пухирці та струмені, барботує через шар рідини на тарілці, при цьому відбувається пухирчастий режим барботажу. При підвищенні швидкості газу в прорізах ковпачків виникають послідовно струминний, пінний і інжекційний гідродинамічні режими барботажу.

При струминному і пінному режимах барботажу на тарілці утворюється шар піни, у якому відбувається інтенсивний масоперенос речовини з газової фази в рідку. У нормальному режимі роботи ковпачкових тарілок звичайно висота шару піни, утвореної над верхнім зрізом ковпачків, становить 2-3 висоти шару світлої рідини на тарілці.

При подальшому підвищенні швидкості газу відбувається повне відкриття прорізів і виникає інжекційний режим роботи тарілки, струмені газу прориваються через шар рідини і піни, при цьому відбувається різке зниження інтенсивності взаємодії фаз на тарілці.

Отже, для оптимальної роботи ковпачкових тарілок необхідно забезпечити певну швидкість газу в прорізах ковпачків, яка звичайно становить 5 - 8 м/с.

Таким чином у ректифікаційних колонах на тарілках відбувається багатоступеневий контакт парової і рідкої фаз, у результаті якого парова фаза конденсується в рідкій фазі на тарілці, за рахунок тепла конденсації з рідкої фази виділяється парова фаза нового складу, збагачена легкокиплячим компонентом, одночасно рідка фаза збагачується важколетучим компонентом і перетікає на нижчезрозташовані тарілки.

У результаті багаторазового протікання процесу пара являє собою майже чистий низькокиплячі компонент, що відводиться з верхньої частини колони через патрубок Б, а залишок в нижній частині колони – чистий висококиплячий компонент, що відводиться через патрубок Г.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Апарат оснащений штучерами для встановлення контрольно-вимірювальних та регулюючих приладів, які дозволяють проводити процес у оптимальних умовах (рис. 1.5) [3].

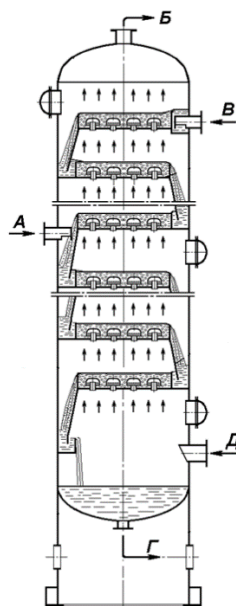


Рисунок 1.5 – Конструкція ректифікаційної колони з ковпачковими тарілками.

Потоки: А – подача вихідної суміші; Б – відведення пари; В – подача флегми; Г – відведення кубової рідини; Д – подача пари з випарника.

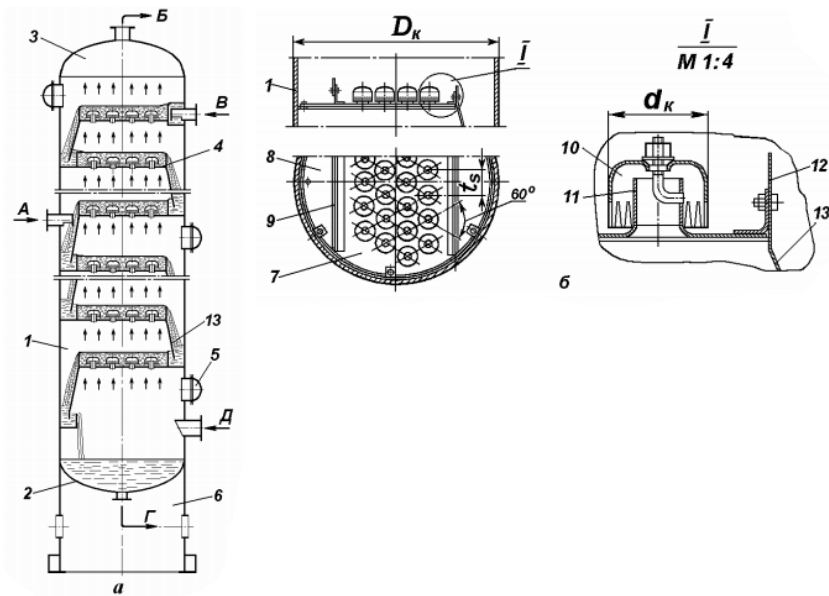
### Обґрунтування вибору конструкції

Звичайно масообмінний апарат являє собою циліндричну колону, по висоті якої на певній відстані установлені масообмінні контактні пристрої [3].

У тарілчастих колонах, що забезпечують інтенсивну міжфазну взаємодію потоків газу та рідини, використовують різного типу тарілки з різноманітними контактними елементами, що відрізняються пристроєм та робочими характеристиками [8].

Широкого застосування в промисловості набули масообмінні колони з ковпачковими тарілками (див. рис. 1.6).

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17



*Рисунок 1.6 – Колона ректифікаційна з ковпачковими тарілками:  
а – бudoва колони; б – бudoва тарілки ковпачкової із сегментними  
переливами.*

*Потоки: А – подача вихідної суміші; Б – відведення пари; В – подача флегми; Г – відведення кубової рідини; Д – подача пари з випарника.*

*1 – корпус колони; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – тарілка ковпачкова із сегментними переливами; 5 – люк - лаз; 6 – опора; 7 – полотно тарілки; 8 – кишеня прийомна; 9 – переливна планка; 10 – ковпачок капсульний; 11 – паровий патрубкок; 12 – зливальна планка; 13 – зливальний лист [3].*

*Колона ректифікаційна безперервної дії складається з верхньої – зміцнюючої частини та нижньої – вичерпної частини. Колона встановлена на опорі 6 і складається з корпусу 1, закритого знизу днищем 2 і зверху кришкою 3 [8].*

*Основною складальною одиницею є вертикальний циліндричний корпус 1, що виготовляється суцільнозварним або зібраним з окремих царг, що з'єднуються за допомогою фланців. У корпусі на певній відстані одна від іншої встановлюють багатоковпачкові тарілки 4 переливного типу, відстань між тарілками визначається залежно від технологічних параметрів роботи і діаметра колони. Люки-лази 5 для огляду і ремонту тарілок звичайно*

встановлюють при відстані між тарілками не менш ніж 500 мм, при цьому один люк може бути встановлений в розрахунку на обслуговування декількох тарілок.

Тарілка являє собою круглий диск (для колон діаметром до 1 м), на якій у шаховому порядку укріплені парові патрубки, закриті зверху капсульними або тунельними ковпачками.

Базою тарілки є металеве полотно 7 товщиною 2 – 5 мм, на якому в певному порядку встановлюють газові (парові) патрубки 11. Парові патрубки на тарілці розташовують переважно в шаховому порядку, діаметри парових патрубків змінюються в інтервалі 50, 70, 80 і 100 мм та їх вибирають за стандартом.

Над кожним патрубком закріплені капсульні ковпачки 10, нижні краї якого занурені в рідину, розміри парових патрубків і ковпачків стандартизовані та вибираються залежно від діаметра колони. Діаметри стандартних капсульних ковпачків залежать від діаметрів парових патрубків і відповідно дорівнюють 60, 80, 120 і 150 мм. Відстані між краями ковпачків рекомендовано приймати рівними 50 – 60 мм, відповідно крок між центрами розташування ковпачків становить  $t_s = (1,3 - 1,9) d_k$ .

Ковпачки біля основи мають зубчасті прорізи для дроблення пара на дрібні струмки. Тим самим збільшується площа контакту між парами і рідиною.

Для ковпачкових тарілок живий перетин парових патрубків звичайно вибирають у межах 10 – 20 % від площі поперечного перерізу колони, площа поперечного перерізу ковпачка дорівнює подвоєній площі парового патрубка. Над паровими патрубками встановлюють індивідуально або групою капсульні ковпачки і закріплюють їх на відстані 5 – 10 мм від полотна тарілки. Нижня крайка капсульних ковпачків має прорізи трикутної, прямокутної або трапецієподібної форми висотою 20 – 30 мм. При роботі колони прорізи ковпачків повинні бути повністю занурені в рідину на глибину 10 – 20 мм нижче рівня рідини на тарілці, що забезпечує диспергування потоку газу і барботування його через шар рідини.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

До тарілки кріпиться зливальний лист 13, занурений у шар рідини на нижчерозташованій тарілці та утворює на тарілці гідрозатвор, що перешкоджає проході газу мимо газових патрубків.

На тарілці організована прийомна кишеня 8, в яку надходить рідина з вищерозміщеної тарілки, площа переливної кишені обмежена переливною планкою 9. Із протилежної сторони тарілки встановлюють зливальну планку 12, висота якої регулюється залежно від рівня шару світлої рідини на тарілці.

Для колон діаметром меншим за 1 м звичайно встановлюють тарілки нерозбірного типу, для колон діаметром більшим 1,2 м тарілки звичайно збирають із окремих секцій, конструкція і число яких залежить від діаметра колони. Основні технічні характеристики і конструктивні розміри ковпачкових тарілок регламентовані ГОСТ 12011-76 і галузевими стандартами.

Згідно з завданням курсового проекту розроблювальна ректифікаційна колона матиме ковпачкові тарілки.

Основними перевагами масообмінних колон з ковпачковими тарілками є порівняно високий ККД у широкому діапазоні навантажень щодо газової (парової) фази (при відношенні максимального навантаження до мінімального до 3), можливість роботи із забрудненими рідинами, порівняно невисокий гідравлічний опір колони (не більше 1 кПа).

Основними недоліками колон з ковпачковими тарілками є висока металоємність, більші трудовитрати при виготовленні, монтажі і ремонті тарілок, відносно високий гідравлічний опір [3].

#### **1.4 Порівняння конструкції проєктованого апарата з аналогами**

Проблема ефективності роботи ректифікаційних колон, що залежить в першу чергу від контактних пристроїв, існувала завжди: змінюється сировина, продуктивність установок і поставлені завдання. Останні роки при реконструкції тарілчастих колон ректифікації частіше всього тарілчасті контактні пристрої замінюються більш досконалі насадкові контактні пристрої.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		20

*Насадкова колона забезпечує менший перепад тиску за висотою апарату, ширший діапазон стійкої роботи, вищий ККД, і, відповідно, вищу розподільчу здатність.*

*Колони з такими характеристиками дозволяють вирішувати питання поглиблення переробки нафти та нафтопродуктів, енергозбереження та підвищення гнучкості, як існуючих, так і технологій, що проектується.*

*Основною відмінністю насадкових і тарілчастих апаратів є те, що тарілчасті колони віддають перевагу при випаданні твердого осаду, який потрібно періодично видаляти з колони. У цих випадках колона забезпечується люками, які розташовуються на такій відстані, щоб було легко проводити чищення.*

*Загальна вага тарілчастої колони зазвичай менша, ніж вага насадочної при однаковій продуктивності: через обмежену міцність насадки.*

*Тарілчасті колони більш придатні для процесів, що супроводжуються коливаннями температури, щодо навколишнього середовища, оскільки періодичне розширення та стиснення корпусу колони за таких умов може зруйнувати насадку.*

*На тарілках легко встановити зміїовики, що робить тарілчасті колони бажанішими, коли потрібно відводити тепло розчинника.*

*Тарілчастим колонам віддають перевагу, коли для здійснення процесу потрібно більше одиниць перенесення або теоретичних тарілок, так як у насадкових колонах передіг газу та рідини може супроводжуватися каналотворенням, що обмежує швидкість масопередачі. У тарілчастих колонах зазвичай може підтримуватися більш висока швидкість рідини, якщо довжина шляху рідини тарілкою не перевищує 1 м.*

*Переваги тарілчастих колон:*

- широкий робочий діапазон навантажень по рідкій та паровій фазах;*
- значну поверхню контакту фаз;*
- ефективна гідродинамічна обстановка на ступенях контакту;*
- порівняно невисокий перепад тиску на одній тарілці;*
- низька питома вартість одиниці об'єму апарату.*

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		21

*Насадкові колони переважно використовуються при роботі під вакуумом, так як гідравлічний опір насадкової колони може бути меншим, ніж тарілчастої. Насадкові колони краще для пінистих рідин. Затримка рідини, як правило, менша в насадковій колоні. Для корозійних середовищ переважають насадкові колони, зазвичай простіші і дешевші. За інших рівних умов насадкові колони мають перевагу перед тарілчастими, якщо діаметр колони менше 0,6 м.*

*До переваг насадочних колон відносять:*

*- Незалежність прохідних перерізів для рідкої та газової фаз, що дозволяє розробляти колонні апарати з оптимальними гідродинамічними режимами для кожної із взаємодіючих фаз, крім того, ці апарати характеризуються низьким гідравлічним опором.*

*- Насадкова колона забезпечує менший перепад тиску за висотою апарата.*

*- Більш широкий діапазон сталої роботи.*

*- Вищий ККД.*

*- Відповідно вищу роздільну здатність.*

*Порівняння основних показників тарілчастої ректифікаційної колони з аналогами описана в таблиці 1.1.*

*Таблиця 1.1 – Типи тарілок і межі застосування.*

<i>Тип тарілки</i>	<i>Діаметри, мм</i>	<i>Діапазон сталої роботи</i>	<i>Область застосування</i>	
			<i>Тиск</i>	<i>Умови</i>
<i>Сітчаста</i>	<i>Від 400 до 4000</i>	<i>2</i>	<i>немає обмежень</i>	<i>Стабільні витрати</i>
<i>Сітчasto-кляпанна</i>	<i>Від 400 до 4000</i>	<i>3-3,5</i>	<i>вакуум або атмосферний</i>	<i>Нестабільні витрати</i>
<i>Кляпанна, ковпачкова</i>	<i>Від 400 до 4000</i>	<i>3,5</i>	<i>атмосферний або підвищений</i>	<i>Нестабільні витрати</i>
<i>Жалюзійно-кляпанна</i>	<i>Від 1000 до 4000</i>	<i>4,5</i>	<i>атмосферний або підвищений</i>	<i>Нестабільні витрати</i>
<i>Ковпачкова</i>	<i>Від 400 до 4000</i>	<i>4,5</i>	<i>немає обмежень</i>	<i>Стабільні витрати</i>



Для проведення процесів масопереносу між газом (паром) та рідиною (відповідно при абсорбції та ректифікації) використовують колонні масообмінні апарати.

Найбільш поширені насадкові та тарілчасті колони, причому кожен тип має свою сферу застосування. Так, насадкові колони застосовують, якщо потрібен невисокий гідравлічний опір газового потоку. Коли цей фактор не має суттєвого значення (ректифікація при атмосферному та підвищеному тиску), використовують тарілчасті колони. У тарілчастих абсорбційних та ректифікаційних колонах процес масообміну між газовою (паровою) і рідкою фазами відбувається на тарілках, які поділяються на безпереливні, позбавлені спеціальних переливних пристроїв для рідини, де газ і рідина проходять через отвори в тарілці, та на тарілки з організованим переливом. Останні володіють широким діапазоном стійкої роботи і тому набули великого поширення [2,3,8].

Порівняння ковпачкових тарілок з іншими видами тарілок для ректифікаційної колони залежить від кількох факторів, таких як ефективність розділення, опір руху рідини та газу, вартість та технічні обмеження. Ось загальне порівняння ковпачкових тарілок з деякими іншими видами тарілок:

**Ковпачкові тарілки та клапанні тарілки:**

- **Ефективність:** Ковпачкові тарілки забезпечують високу ефективність розділення, оскільки вони створюють багато точок контакту між газом і рідиною. Клапанні тарілки можуть мати меншу ефективність розділення.
- **Опір руху:** Ковпачкові тарілки зазвичай мають вищий опір руху газу та рідини порівняно з клапанними тарілками.
- **Універсальність:** Ковпачкові тарілки підходять для широкого спектру рідин і газів, тоді як клапанні тарілки можуть бути обмежені в застосуванні для певних речовин.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		23

**Ковпачкові тарілки та перфоровані тарілки:**

- *Ефективність:* Ковпачкові тарілки зазвичай мають кращу ефективність розділення, оскільки забезпечують більше активної площі контакту між фазами. Перфоровані тарілки можуть мати меншу ефективність.
- *Опір руху:* Ковпачкові тарілки мають більший опір руху рідини і газу порівняно з перфорованими тарілками.
- *Конструкція:* Ковпачкові тарілки зазвичай складніші за конструкцією, що може впливати на їх вартість та обслуговування. Перфоровані тарілки мають більш просту конструкцію.

**Ковпачкові тарілки vs сітчасті тарілки:**

- *Ефективність:* Ковпачкові тарілки можуть мати вищу ефективність розділення порівняно з сітчастими тарілками, особливо при роботі з важкими рідинами та газами.
- *Опір руху:* Ковпачкові тарілки мають вищий опір руху рідини і газу порівняно з сітчастими тарілками.
- *Обмеження:* Сітчасті тарілки можуть бути вразливими до засмічення, що може впливати на їх ефективність, тоді як ковпачкові тарілки менш чутливі до цього.

Для більш детального дослідження ковпачкових тарілок і порівняння їх з іншими видами тарілок можна скористатися наступними джерелами:

1. *"Distillation Design" by Henry Z. Kister:* Ця книга є авторитетним джерелом для розуміння процесу ректифікації та різних типів тарілок, включаючи ковпачкові тарілки. В книзі наведено порівняння різних типів тарілок та їх застосування в ректифікаційних процесах.

2. *"Chemical Process Equipment: Selection and Design" by James R. Couper, W. Roy Penney, James R. Fair, Stanley M. Walas:* Ця книга пропонує широкий огляд різних типів тарілок та їх характеристик. В ній можна знайти порівняння ковпачкових тарілок з іншими типами тарілок, а також посилання на стандарти і рекомендації.

						XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
							24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

3. *Інженерні стандарти та специфікації: Різні організації та стандартизаційні органи, такі як American Society of Mechanical Engineers (ASME) та International Organization for Standardization (ISO), можуть мати стандарти і специфікації, які включають вимоги до тарілок для ректифікаційних колон. Дослідження стандартів може надати детальну інформацію про характеристики ковпачкових тарілок та їх порівняння з іншими типами тарілок.*

### **1.5 Вибір конструкційних матеріалів**

*При виборі матеріалу основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, фізичні властивості, теплостійкість, конструктивна досконалість, довговічність, технологічні характеристики, склад та структура матеріалу, простота виготовлення, вартість, зручність транспортування, монтажу та експлуатації. Тому до конструкційних матеріалів проектованої апаратури висувають такі вимоги:*

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

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

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

*4) низька вартість та доступність матеріалів [1].*

*Конструкційний матеріал повинен мати високу хімічну стійкість не тільки, щоб забезпечити необхідну довговічність апарату, матеріал може виявитися каталізатором, що сприяє передігу побічних реакцій, що призводять до зменшення виходу основного продукту. Іншим критерієм є розрахункова температура стінок апарату, а також якщо ця температура є позитивною, для апаратів, що встановлюються на відкритому майданчику. Необхідно враховувати мінімальну температуру, за якої апарат зможе працювати [10].*

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		25

Для виготовлення апаратів у хімічній промисловості як конструкційні матеріали застосовують чорні метали та сплави (сталі, чавуни), кольорові метали та сплави, неметалічні матеріали (пластмаси, матеріали на основі каучуку, кераміку, вуглеграфітові та силікатні матеріали, дерево).

Корозія – це руйнування металевих матеріалів, що відбувається під хімічною дією довкілля. Відома безліч способів захисту металів від корозії. Зокрема виробляють заміну матеріалів, що піддаються корозії, на корозійностійкі. Також застосовуються різні лакофарбні покриття.

Тому вибір матеріалу починається з уточнення робочих умов: температури стінки (мінімальна та максимальна), розрахункового тиску, хімічний склад та характер середовища, технологічні властивості та корозійну стійкість матеріалів, концентрації, оброблюваних речовин та інших факторів, що визначають можливість застосування того чи іншого матеріалу.

Ацетон-бензол по відношенню до вуглецевих сталей має не високу корозійну активність (клас по корозійній активності 4, швидкість корозії не перевищує 0,05 мм/рік), тому усі вузли і деталі апарату (корпус апарату) недотичні до адсорбенту, виготовляються із сталі 09Г2С.

Виходячи з властивостей середовища для виготовлення корпусу ректифікаційної колони вибираємо низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С за ДСТУ 8541.

На підставі вище викладеного, вибрано такі конструкційні матеріали:

- обичайка (корпус), днище та кришка – сталь 09Г2С ДСТУ 8541:2015;
- матеріал опори – сталь ВСтЗсп5 ДСТУ 2651:2005;
- матеріал фланців – сталь 10Х17Н13М2Т ISO 6931-4:2016 "Steel wire for springs";
- матеріал болтів – сталь 35 ДСТУ 7809:2015;
- матеріал прокладок – пароніт ГОСТ 481-71.

### Сталь 09Г2С

Вид постачання – сортовий прокат, у тому числі фасонний: ДСТУ 8541:2015, ДСТУ 4738:2007, ДСТУ 4746:2007, ДСТУ 3436-96.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Призначення – конструктивні деталі і елементи зварних металоконструкцій, що працюють при температурі від, - 70 до +425°C.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 09Г2С, у відсотках (%).

N, не більш	Si, не більш	Mn, не більш	Cu, не більш	As, не більш	Ni, не більш	S, не більш	C, не більш	P, не більш	Cr, не більш
0,008	0,5-0,8	1,3-1,7	0,30	0,08	0,30	0,040	0,12	0,035	0,30

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 09Г2С.

ДСТУ	Стан поставки	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B$ МПа	$\delta_5$ %
ДСТУ 8541:2015	Сортовий і фасонний прокат	До 10	345	490	21
	Листи й смуги (Зразки поперечні)	от 10 до 20 вкл.	325	470	21
		от 20 до 32 вкл.	305	460	21
		от 32 до 60 вкл.	285	450	21
		от 60 до 80 вкл.	275	440	21
от 80 до 160 вкл.	265	430	21		
Листи після гарту, відпустки (Зразки поперечні)		от 10 до 32 вкл.	365	490	19
		от 32 до 60 вкл.	315	450	21
Листи гарячекатані		2-3,9		490	17

Температура кування – спочатку 1250°C, кінця 850°C.

Зварюваність – зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС під флюсом і газовим захистом, ЗШС. Марка широко використовується для зварних конструкцій. Зварювання може виконуватися як без підігріву, так і з попереднім підігрівом до 100-120°C. Так як вуглецю в сталі мало, то зварювання її досить проста, причому сталь не гартується і не перегрівається в процесі зварювання, завдяки чому не відбувається зниження пластичних властивостей або збільшення її зернистості.

До плюсів застосування цієї сталі можна віднести також, що вона не схильна до відпускнуї крихкості і її в'язкість не знижується після відпустки.

Вищенаведеними властивостями пояснюється зручність використання 09Г2С від інших сталей з великим вмістом вуглецю або присадок, які гірше варяться і змінюють властивості після термообробки.

Для зварювання 09Г2С можна застосовувати будь-які електроди, призначені для низьколегованих і маловуглецевих сталей.

Оброблюваність різанням – в нормалізованому, відпущеному стані при  $\sigma_B = 520$  Мпа  $Ku_{тв.спл.} = 1,6$ ,  $Ku_{\delta.ст.} = 1,0$ .

Заходи по захисту від корозії.

Для захисту зовнішньої поверхні апарату лак ПФ - 170 ДСТУ Б В.2.6 - 193:2013 з алюмінієвою пудрою ПАП - 1 ГОСТ 5994. Зовнішні незабарвлені поверхні з вуглецевої сталі покривають гарматним мастилом типу ЗТ5/5-5 ГОСТ 19537-83.

### Сталь ВСтЗсп5

Класифікація – сталь конструкційна вуглецева звичайної якості.

Призначення – елементи зварних і незварних конструкцій і деталей (для корпусів, днищ, плоских фланців та інших деталей), що працюють при позитивних температурах, що несуть і не несуть. Фасонний і листовий прокат (5-її категорії) завтовшки до 10 мм для елементів зварних конструкцій, що працюють при змінних навантаженнях в інтервалі від, що несуть  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+425^{\circ}\text{C}$ . Прокат від 10 до 25 мм – для елементів зварних конструкцій, що працюють при температурі від, що несуть  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+425^{\circ}\text{C}$  за умови постачання із зварюваністю, що гарантується.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад сталі ВСтЗсп5, % (ДСТУ 2651:2005).

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	As
			не менше					
0,14-0,22	0,4-0,65	0,05-0,17	0,04	0,05	0,3	0,3	0,3	0,08

Таблиця 1.5 – Механічні властивості сталі ВСтЗсп5 (ДСТУ 2651:2005).

ДСТУ	Стан постачання	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
			не менше		
2651:2005	Прокат гарячекатаний	До 20	245	370-480	26

Таблиця 1.6 – Ударна в'язкість КСУ, Дж/см<sup>2</sup> (ДСТУ 2651:2005).

Вид прокату	Напряв вирізки зразка	Перетин, мм	+20°C	-20°C	Після механічного старіння
			не менше		
Лист	Поперечне	5 - 9	78	39	39

*Технологічні властивості*

Температура кування: почала 1300°C, кінця 750°C. Охолодження на повітрі.

Зварюваність – зварюються без обмежень; способи зварки: ручна дугова зварка, автоматична дугова зварка під флюсом і газовим захистом, електрошлакова зварка і контактна зварка. Для товщини понад 36 мм рекомендується підігрів і подальша термообробка.

Оброблюваність різанням – в гарячекатаному стані при HB 124 і  $\sigma_B = 400$  МПа.

Схильність до відпускної крихкості – не схильна.

**Сталь 10X17H13M2T**

Стандарт – ISO 6931-4:2016 “Steel wire for springs” (ГОСТ 4986-79 – Стрічка холоднокатана з корозійно-стійкої та жаростійкої сталі. Технічні умови; ГОСТ 5632-2014.)

Застосування – зварні конструкції, що працюють у середовищах підвищеної агресивності, призначені для тривалих термінів служби за 600 C.; сталь аустенітного класу.

Постачається – у вигляді сортового прокату, прутків, сріблянки, листів товстих і тонких, стрічки, смуги, дроту, поковок, кованих заготовок, труб, кіл та ін.

Класифікація – клас корозійностійких сталей звичайних. Кислотостійка сталь. Група аустенітів (устар. назв. X17H13M2T E1448).

Таблиця 1.7 – Хімічний склад сталі 10X17H13M2T, у відсотках (%).

C	Si	Mn	Ni	P	Cr	Mo	Cu	-
<0,1	<0,8	<2	12,0-14,0	<0,035	16,0-18,0	2,0-3,0	<0,3	(5 C – 0,7) Ti, інше Fe

Таблиця 1.8 – Механічні властивості сталі 10X17H13M2T (устар. назв. X17H13M2T E1448) при  $T = 20^{\circ}\text{C}$ .

Прокат	Розмір	Тимчасовий опір розриву, $\sigma_b$ , МПа	Межа короточасної міцності, $S_T$ , МПа	Відносне подовження при розриві, $\delta_5$ , %	Відносне звуження, $\psi$ , %
Поковки	до 1000	510	196	35	45
Лист тонкий	-	530	-	38	-
Сорт	60	510	215	40	55
Лист товстий	-	530	235	37	-
Труби холоднодеформовані	-	529	-	35	-

Таблиця 1.9.

Сортамент	Товщина, мм	Тимчасовий опір розриву, $\sigma_b$ , МПа	Відносне подовження при розриві, $\delta_5$ , %
Стрічка	<0,2	>530	>40
Стрічка	0,2-2,0	>530	>20

Основні характеристики сталі 10X17H13M2T:

1. Стійкість до температур у великому діапазоні (як мінусових, так і позитивних до  $600^{\circ}\text{C}$ ), а також до різких температурних перепадів.
2. Нейтральність при експлуатації в агресивних хімічних середовищах, включаючи стійкість до корозії під впливом оцтової та



фосфорної кислот. Сталь 10X17H13M3T стійко пасивна концентрованих розчинах їдкою натру (50%) при температурах до 100°C.

3. Ці особливості зумовляють широкий попит на сталь і нестандартність сфер застосування.

Таблиця 1.10 – Технологічні властивості сталі 10X17H13M2T.

Питома вага	7950 кг/м <sup>3</sup>
Термообробка	Загартування при 1050 - 1100°C, вода
Температура кування	Почала 1180°C, кінця 850°C. Перетину до 300 мм охолоджуються на повітрі
Твердість матеріалу	HВ 10 <sup>-1</sup> = 200 МПа
Зварюваність матеріалу	Без обмежень

### Сталь 35

Сталь марки 35 – конструкційна вуглецева, застосовується при виробництві деталей невисокої міцності, які витримують невеликі напруги: осі, циліндри, колінчасті вали, шатуни, шпинделі, зірочки, тяги, ободи, траверси, вали, бандажі, диски та інші деталі. Продукція зі сталі 35 повинна відповідати ГОСТ 1050 або ДСТУ 7809.

Класифікація: сталь конструкційна вуглецева якісна.

Продукція: сортовий прокат, в тому числі фасонний.

Таблиця 1.11 – Хімічний склад сталі 35 у відсотках (%).

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0,32-0,40	0,17-0,37	0,50-0,80	<0,30	<0,035	<0,030	<0,25	<0,3	<0,08

Таблиця 1.12 – Механічні властивості сталі 35.

Стандарт	Межа плинності, МПа	Тимчасовий опір розриванню, МПа	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %
ГОСТ 1050	315	530	20	45

### *Зварювання*

Марка сталі 35 є обмежено зварюваною. Основні способи зварювання: АДЗ, РДЗ і зварювання під флюсом і газовим захистом. Перед зварюванням рекомендується підігрів.

*Зварюваність: обмежена.*

*Флокеночутливість: нечутлива.*

*Схильність до відпускної крижкості: не схильна.*

### Характеристика пароніта

Матеріал прокладок для стандартних фланцевих з'єднань і трубною арматури приймаємо – пароніт.

Пароніт представляє із себе лист. Паронітовий лист виготовляється методом вулканізації суміші, яка складається з азбестових волокон (до 75%) гуми або каучуку (до 15%) наповнювачів і допоміжних речовин. Лист отримують методом гарячої вулканізації в умовах високого тиску на вальцях, які називаються каландрами.

Пароніт до певного часу вважався безпечним, тому є дуже розповсюдженим прокладочним матеріалом. Межа плинності для деяких видів пароніту орієнтовно 320 МПа. За таких умов матеріал починає плинати, в результаті цього процесу всі нерівності ущільнюваних поверхонь заповнюються матеріалом і з'єднання набуває герметичності. При виборі товщини прокладки слід обирати якомога тонший матеріал, але його товщина має бути достатньою, аби заповнити всі канавки та нерівності.

Паронітові ущільнювальні матеріали виготовлялися (подекуди і досі виготовляються) у вигляді аркушів, товщиною не більше 5-6 міліметрів. Пароніт легко різати, з нього легко вирубувати прокладки.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		32

*Завдяки можливості обробки пароніту, вирізати прокладку складної форми дуже легко. Прокладки з пароніту використовували за температури навколишнього середовища не нижче за -60 градусів Цельсія. Пароніт не вступає в реакцію з більшістю конструкційних металів та матеріалів. В тому числі пароніт є пасивним по відношенню до алюмінію, латунню, оцинкованою сталлю, багатьма іншими матеріалами. Властивості пароніту та прокладок з пароніту чітко регламентовані ГОСТ 481-80 [1, 9, 10, 11, 12].*

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

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТА

**Вихідні дані:**

**Бінарна суміш (НКК-ВКК) – ацетон – бензол.**

**Тиск у колоні – 1 ат.**

**Витрата вихідної суміші – 4750 кг/год = 4,75 т/год.**

**Мольна частка НКК:**

- у сировину  $x_F = 0,24$  мол. дол.;

- у дистилляті  $x_D = 0,93$  мол. дол.;

- у залишку  $x_W = 0,03$  мол. дол..

**Молекулярна вага <sup>1</sup>:**

Ацетон ( $M_{НКК}$ ) – 58,08 кг/кмоль; Бензол ( $M_{ВКК}$ ) – 78,11 кг/кмоль.

**Питома вага <sup>2</sup>:**

Ацетон – 0,7899 кг; Бензол – 0,881 кг.

**Густина <sup>1</sup>  $\rho_4^{20}$ :**

Ацетон – 791 кг/м<sup>3</sup>; Бензол – 879 кг/м<sup>3</sup>.

**Температура кипіння <sup>2</sup>:**

Ацетон – 56°C; Бензол – 80,2°C.

**Коефіцієнти Антуана <sup>2</sup>:**

Ацетон:

A – 7,2506; B – 1281,7; C – 237,088.

Бензол:

A – 6,9121; B – 1214,645; C – 221,205.

**Температуру охолоджувальної води:**

$t_{нв} = 15^\circ\text{C}$ ;  $t_{кв} = 35^\circ\text{C}$ .

---

<sup>1</sup>Властивості взяті з джерела [13, табл. XLIV, IV].

<sup>2</sup>Властивості взяті з джерела [14].

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

## 2.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки

В основу технологічних розрахунків ректифікаційної установки покладені рівняння матеріальних і теплових балансів. На базі рівнянь матеріальних балансів визначають масові витрати цільових продуктів залежно від загальної продуктивності колони, концентрації вихідної суміші і одержуваних продуктів.

На рис. 2.1 подана схема взаємодії матеріальних потоків у простій ректифікаційній колоні.

При розрахунку ректифікаційних колон приймають наступні допущення, що незначно змінюють умови протікання процесу, але значною мірою спрощують розрахунок:

1. вихідна (поділювана) суміш подається в колону на тарілку живлення підігрітою до температури кипіння, що виключає різкі зміни температур і концентрації речовин у паровій і рідкій фазах;
2. концентрація НКК у парі, що виводиться з верху колони в дефлегматор, і концентрація НКК у флегмі, що надходить з дефлегматора у колону, рівні між собою, тобто  $y_D = x_D$ ;
3. концентрація НКК у парі, що надходить у колону з кип'ятильника, дорівнює концентрації НКК у кубовій рідині, тобто  $y_W = x_W$ ;
4. поділювана суміш підкоряється правилу Трутона, відповідно з яким відношення мольної теплоти випаровування (конденсації) речовини до її абсолютної температури кипіння для всіх речовин суміші є величиною сталою, тобто  $\frac{r_1}{T_1} = \frac{r_2}{T_2} = \dots = \frac{r_{CM}}{T_{CM}} \approx \text{const}$ .

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

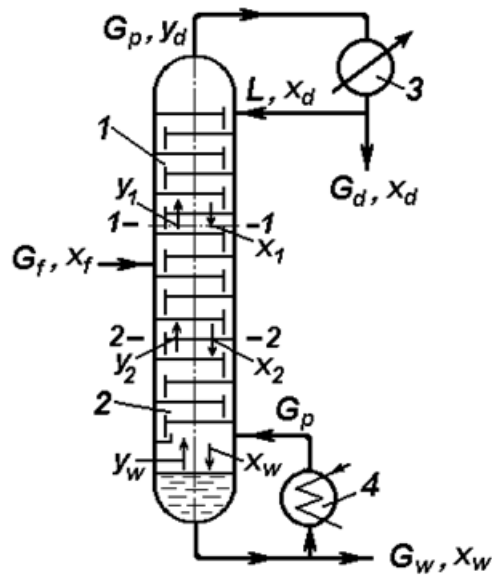


Рисунок 2.1 – Схема руху матеріальних потоків у простій ректифікаційній колоні для розділення бінарної суміші:

1 – верхня (концентраційна) частина колони; 2 – нижня (відгонна) частина колони; 3 – конденсатор-дефлегматор; 4 – кип'ятильник-випарник.

Звідси випливає, що мольна витрата пари, що піднімається (у кіломолях) по висоті колони у будь-якому її перетині, є величиною сталою.

Для простої ректифікаційної колони запишемо рівняння матеріальних балансів, щодо маси взаємодіючих потоків [3].

Згідно зі схеми (рис. 2.1) матеріальний баланс для ректифікаційної колони складається за потоками, можна виразити в такий спосіб для всієї системи для низькокиплячого компонента (ацетону), який необхідний для визначення витрат дистиллята та кубового залишка [4, стр. 228]:

$$\begin{cases} F = D + W, & (2.1) \\ F \cdot x_F = D \cdot y_D + W \cdot x_W. & (2.2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_F = G_D + G_W, & (2.3) \\ G_F \cdot \bar{x}_F = G_D \cdot \bar{x}_D + G_W \cdot \bar{x}_W. & (2.4) \end{cases}$$

де  $G_F$  та  $F$  – продуктивність колони відповідно в кг/год і кмоль/год;  
 $G_D$  та  $D$  – масові витрати дистиляту відповідно в кг/год і кмоль/год;  
 $G_W$  та  $W$  – масові витрати залишку в кг/год і кмоль/год;  
 $x_F$  та  $\bar{x}_F$  – концентрація НКК у сировину мольні й масові частки;  
 $x_D$  та  $\bar{x}_D$  – концентрація НКК у дистиляті мольні й масові частки;  
 $x_W$  та  $\bar{x}_W$  – концентрація НКК у залишку мольні й масові частки.

Оскільки продуктивність колони за вихідною сумішшю задана в кг/год, необхідно перевести мольні частки легколеткого компоненту (НКК) в продуктах у масові [13, стр. 283]:

$$\bar{x}_F = x_F \cdot \frac{M_{\text{НКК}}}{M_F}, \quad (2.5)$$

$$\bar{x}_D = x_D \cdot \frac{M_{\text{НКК}}}{M_D}, \quad (2.6)$$

$$\bar{x}_W = x_W \cdot \frac{M_{\text{НКК}}}{M_W}, \quad (2.7)$$

де  $x_F, x_D, x_W$  – мольні частки (дані в завданні);  
 $M_{\text{НКК}}, M_{\text{ВКК}}$  – молекулярна вага кг/год (дана в завданні);  
 $M_F, M_D, M_W$  – мольні маси відповідно вихідної суміші, дистиляту, кубового залишку, легколеткого і важколеткого компонентів:

$$M_F = M_{\text{НКК}} \cdot x_F + M_{\text{ВКК}} \cdot (1 - x_F); \quad (2.8)$$

$$M_F = 58,08 \cdot 0,24 + 78,11 \cdot (1 - 0,24) = 73,303 \text{ кг/кмоль.}$$

$$M_D = M_{\text{НКК}} \cdot x_D + M_{\text{ВКК}} \cdot (1 - x_D); \quad (2.9)$$

$$M_D = 58,08 \cdot 0,93 + 78,11 \cdot (1 - 0,93) = 59,482 \text{ кг/кмоль.}$$

$$M_W = M_{\text{НКК}} \cdot x_W + M_{\text{ВКК}} \cdot (1 - x_W); \quad (2.10)$$

$$M_W = 58,08 \cdot 0,03 + 78,11 \cdot (1 - 0,03) = 77,51 \text{ кг/кмоль.}$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тоді масові частки легколеткого компоненту в продуктах визначаємо за формулами (2.5, 2.6, 2.7):

$$\bar{x}_F = 0,24 \cdot \frac{58,08}{73,303} = 0,1902 \text{ мас. дол.}$$

$$\bar{x}_D = 0,93 \cdot \frac{58,08}{59,482} = 0,9081 \text{ мас. дол.}$$

$$\bar{x}_W = 0,03 \cdot \frac{58,08}{77,51} = 0,0225 \text{ мас. дол.}$$

Розрахуємо продуктивність початкової суміші ректифікаційної колони:

$$F = G_F / M_F; \quad (2.11)$$

$$F = 4750 / 73,303 = 64,8 \text{ кмоль/год.}$$

Знайдемо масові й мольні витрати ацетону  $G_{FA}$ ,  $F_A$  і бензола  $G_{FB}$ ,  $F_B$  в сировині:

$$G_{FA} = G_F \cdot \bar{x}_F; \quad (2.12)$$

$$G_{FA} = 4750 \cdot 0,1902 = 903,45 \text{ кг/год.}$$

$$F_A = F \cdot x_F; \quad (2.13)$$

$$F_A = 64,8 \cdot 0,24 = 15,552 \text{ кмоль/год.}$$

$$G_{FB} = G_F \cdot (1 - \bar{x}_F); \quad (2.14)$$

$$G_{FB} = 4750 \cdot (1 - 0,1902) = 3846,55 \text{ кг/год.}$$

$$F_B = F \cdot (1 - x_F); \quad (2.15)$$

$$F_B = 64,8 \cdot (1 - 0,24) = 49,248 \text{ кмоль/год.}$$

Для того, щоб визначити масові витрати дистилляту  $G_D$  і кубового залишку  $G_W$  складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} F = G_D + G_W, & (2.16) \\ G_F \cdot \bar{x}_F = G_D \cdot \bar{x}_D + G_W \cdot \bar{x}_W. & (2.17) \end{cases}$$



$$\begin{cases} 4,75 = G_D + G_W, \\ 4,75 \cdot 0,1902 = 0,9035 \Rightarrow G_D \cdot 0,9081 + G_W \cdot 0,0225. \end{cases}$$

Виразимо  $G_D$  через перше рівняння й підставимо в друге:

$$G_D = 4,75 - G_W,$$

$$0,9035 = (4,75 - G_W) \cdot 0,9081 + G_W \cdot 0,0225,$$

$$0,9035 = 4,314 - 0,9081 \cdot G_W + G_W \cdot 0,0225,$$

$$0,8856 \cdot G_W = 3,411,$$

$$G_W = 3,852 \text{ т/год} = 3852 \text{ кг/год},$$

$$G_D = 4,75 - 3,852 = 0,898 \text{ т/год} = 898 \text{ кг/год}.$$

Перевіряємо правильність складання матеріального балансу:

$$4750 = 3852 + 898 \Rightarrow 4750 = 4750$$

Отже, матеріальний баланс складено правильно.

Знайдемо масові й мольні витрати ацетона і бензола в  $D$  (дистиляті) –  $G_{DA,Б}$ ,  $D_{A,Б}$  та в  $W$  (кубовому залишку) –  $G_{WA,Б}$ ,  $W_{A,Б}$ :

$$D = G_D / M_D; \quad (2.18)$$

$$D = 898 / 59,482 = 15,097 \text{ кмоль/год}.$$

$$G_{DA} = G_D \cdot \bar{x}_D; \quad (2.19)$$

$$G_{DA} = 898 \cdot 0,9081 = 815,474 \text{ кг/год}.$$

$$D_A = D \cdot x_D; \quad (2.20)$$

$$D_A = 15,097 \cdot 0,93 = 14,04 \text{ кмоль/год}.$$

$$G_{DБ} = G_D - G_{DA}; \quad (2.21)$$

$$G_{DБ} = 898 - 815,474 = 82,526 \text{ кг/год}.$$

$$D_B = D - D_{A_i} \quad (2.22)$$

$$D_B = 15,097 - 14,04 = 1,057 \text{ кмоль/год.}$$

$$W = G_W / M_{W_i} \quad (2.23)$$

$$W = 3852 / 77,51 = 49,697 \text{ кмоль/год.}$$

$$G_{WA} = G_W \cdot \bar{x}_{W_i} \quad (2.24)$$

$$G_{WA} = 3852 \cdot 0,0225 = 86,67 \text{ кг/год.}$$

$$W_A = W \cdot x_{W_i} \quad (2.25)$$

$$W_A = 49,697 \cdot 0,03 = 1,491 \text{ кмоль/год.}$$

$$G_{WB} = G_W - G_{WA_i} \quad (2.26)$$

$$G_{WB} = 3852 - 86,67 = 3765,33 \text{ кг/год.}$$

$$W_B = W - W_{A_i} \quad (2.27)$$

$$W_B = 49,697 - 1,491 = 48,206 \text{ кмоль/год.}$$

Складемо матеріальний баланс у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Матеріальний баланс ректифікаційної колони.

Компонент	сировина (F)		дистилят (D)		Залишок (W)	
	кмоль/год	кг/год	кмоль/год	кг/год	кмоль/год	кг/год
НКК ацетон	15,552	903,45	14,04	815,474	1,491	86,67
ВКК бензол	49,248	3846,55	1,057	82,526	48,206	3765,33
Всього	64,8	4750	15,097	898	49,697	3852

### 2.1.1 Побудова кривої рівноваги фаз в координатах $x - y$

Побудова кривої рівноваги пари і рідини на діаграмі  $x - y$  показано на рис. 2.2. На осях відкладається максимальна концентрація низькокиплячого компонента (в даному випадку ацетону) в паровій  $y_{\delta}$  і рідкій  $x_{\delta}$  фазах (100%), будується квадрат. Через отриману точку  $A$  та початок координат  $O$  проводимо допоміжну лінію – діагональ  $OA$ . Криву рівноваги будують у заданому масштабі за  $x_{\delta}$  і  $y_{\delta}$  при різних температурах. На перетині перпендикулярів, встановлених із точок  $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3; \dots$ , отримуємо точки  $A_1, A_2, A_3, \dots$ . Поєднуючи ці точки плавною лінією, отримуємо криву рівноваги. Якщо лінія рівноваги лежить вище за діагональ, то пари збагачені низькокиплячим компонентом. Чим ближче лінія рівноваги до діагоналі, тим менша різниця складів пари та рідини і тим важче розділяється суміш при ректифікації [5].

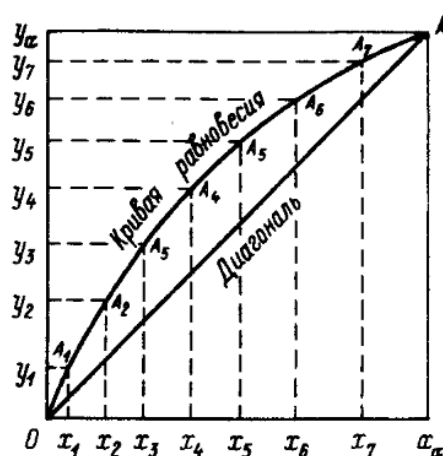


Рисунок 2.2 – Графік побудови кривої рівноваги.

Для побудови кривих ізобар нам необхідно знати залежність  $P = f(t)$  між температурою  $t$  і тиском насичених парів компонента  $P_i$ , описується емпіричним рівнянням Антуана [15, стр. 13; 12, стр. 694]:

$$\lg P_i = A_i - B_i / (C_i + t), \quad (2.28)$$

де  $A_i, B_i, C_i$  – коефіцієнти Антуана для речовин, див. стр. 34;

$t$  – температура кипіння низькокиплячого компонента (ацетон)

$t_{\text{НKK}} = 56^\circ\text{C}$ , температура кипіння висококиплячого компоненту (бензол)

$t_{\text{ВKK}} = 80,2^\circ\text{C}$ .

Далі в межах цих температур кипіння компонентів задамося десятьма температурами:

$$\Delta t = (t_{\text{ВKK}} - t_{\text{НKK}})/10; \quad (2.29)$$

$$\Delta t = (80,2 - 56)/10 = 2,42^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{НKK}} = 56^\circ\text{C},$$

$$t_1 = 58,42^\circ\text{C},$$

$$t_2 = 60,84^\circ\text{C},$$

$$t_3 = 63,26^\circ\text{C},$$

$$t_4 = 65,68^\circ\text{C},$$

$$t_5 = 68,1^\circ\text{C},$$

$$t_6 = 70,52^\circ\text{C},$$

$$t_7 = 72,94^\circ\text{C},$$

$$t_8 = 75,36^\circ\text{C},$$

$$t_9 = 77,78^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{ВKK}} = 80,2^\circ\text{C}.$$

Визначаємо тиск насичених парів компонентів  $P_{\text{НKK}}$  та  $P_{\text{ВKK}}$  згідно формули (2.28), при температурі  $t_1 = 56^\circ\text{C}$ :

$$P_{\text{НKK}} = 10^{\left(7,2506 - \frac{1281,7}{(237,088 + 56)}\right)} = 754,2 \text{ мм рт. ст.} = 0,992 \text{ атм},$$

$$P_{\text{ВKK}} = 10^{\left(6,9121 - \frac{1214,645}{(221,205 + 56)}\right)} = 339,1 \text{ мм рт. ст.} = 0,446 \text{ атм}.$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

Для інших температур тиску насичених парів компонентів  $P_{НKK}$  та  $P_{ВKK}$  розраховані у програмі Excel та зведені в табл. 2.2.

Визначимо молярні частки ацетону в киплячій рідкій фазі ( $x$ ) і в рівноважній паровій фазі ( $y$ ) [16, стр. 669]:

$$x = (P - P_{ВKK}) / (P_{НKK} - P_{ВKK}), \quad (2.30)$$

$$y = P_{НKK} \cdot x / P, \quad (2.31)$$

де  $P = 1$  атм;

При температурі  $t_1 = 56^\circ\text{C}$ :

$$x = (1 - 0,446) / (0,9924 - 0,446) = 1,014 \approx 1,$$

$$y = 0,9924 \cdot 1,014 / 1 = 1,006 \approx 1.$$

Для інших температур молярні частки ацетону в киплячій рідкій фазі і в рівноважній паровій фазі розраховані в програмі Excel та зведені в табл. 2.2.

Для побудови кривої рівноваги фаз і ізобарних температурних кривих складемо таблицю 2.2 отриманих даних.

Побудова діаграми проводиться в наступній системі координат: по осі абсцис відкладаються молярні частки НКК в рідкій фазі, а по осі ординат – молярні частки НКК в паровій фазі.

Проводиться діагональ в квадраті, отриманому при побудові системи координат, яка відповідає лінії рівноваги з коефіцієнтом відносної летючості компонентів, рівним 1.

З використанням попередніх розрахунків, на діаграмі наносяться точки, відповідні  $x$  і  $y$ . Після цього отримані точки необхідно з'єднати плавною кривою (див.рис.2.3) [5].

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Таблиця 2.2 – Дані для побудови кривих ізобар.

№	°C	$P_{НКК}$	$P_{ВКК}$	$x$	$y$
$t_{НКК}$	56	0,9924	0,446	$1,014 \approx 1$	$1,006 \approx 1$
$t_1$	58,42	1,0777	0,487	0,868	0,936
$t_2$	60,84	1,1688	0,531	0,736	0,86
$t_3$	63,26	1,2659	0,577	0,614	0,777
$t_4$	65,68	1,3693	0,627	0,502	0,688
$t_5$	68,1	1,4794	0,68	0,4	0,592
$t_6$	70,52	1,5963	0,737	0,306	0,488
$t_7$	72,94	1,72,5	0,798	0,219	0,377
$t_8$	75,36	1,8521	0,862	0,139	0,258
$t_9$	77,78	1,9916	0,931	0,065	0,13
$t_{ВКК}$	80,2	2,1391	1,003	0	0

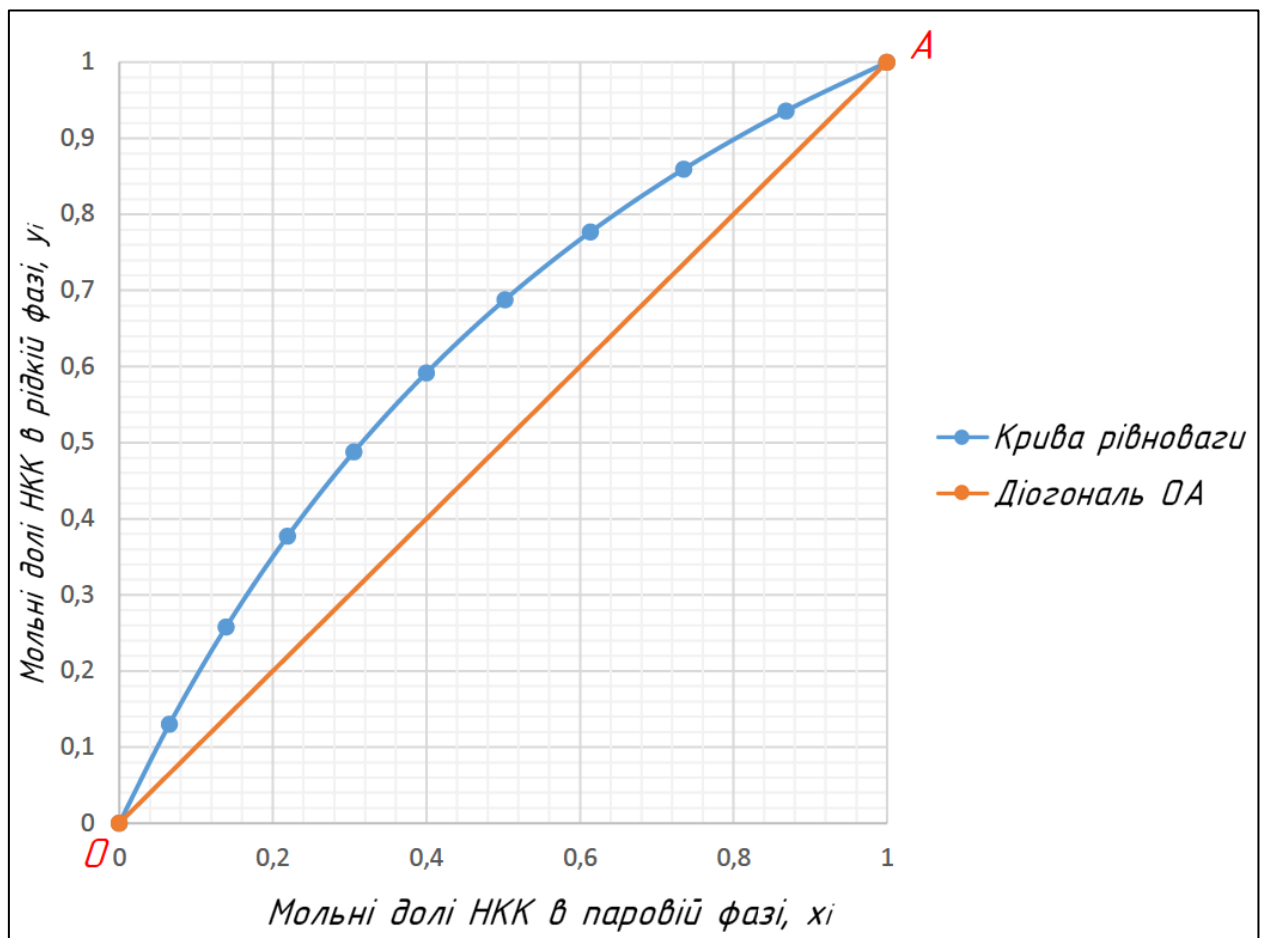


Рисунок 2.3 – Крива рівноваги фаз в координатах  $x - y$ .

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

XI.P.00.00.00 ПЗ

Лист

44

Зробимо визначення значень  $y_F$ ,  $y_D$  і  $y_W$ , на рисунку 2.4.

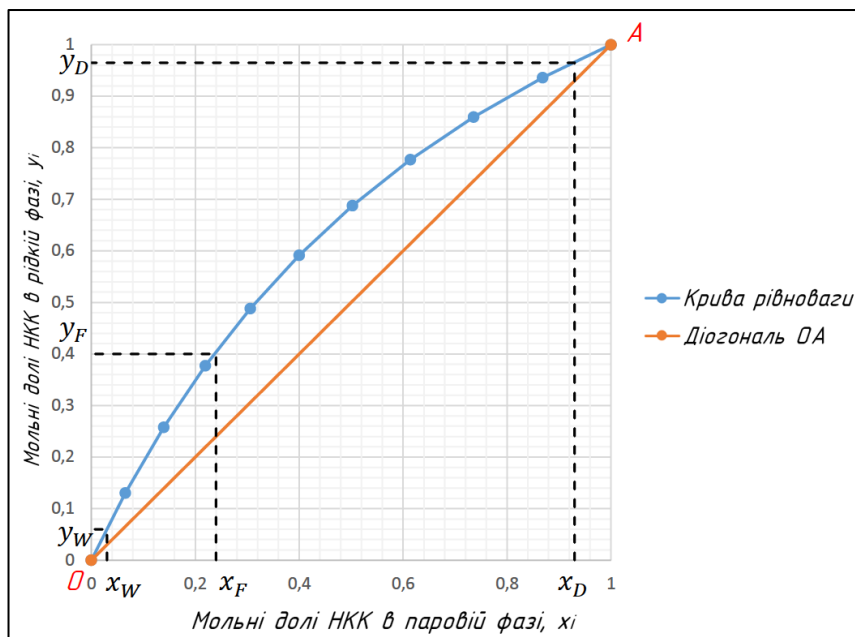


Рисунок 2.4 – Визначення значень  $y_F$ ,  $y_D$  та  $y_W$  по  $x - y$  діаграма для бінарної суміші ацетон – бензол.

Відповідно до рисунка 2.4 визначили значень мольних часток ацетона в парі, кмоль/кмоль суміші:

$$y_F = 0,4;$$

$$y_D = 0,965;$$

$$y_W = 0,06.$$

### 2.1.2 Робочі лінії процесу ректифікації

Визначення графічним методом числа теоретичних тарілок зображено на рис. 2.5.

Щоб визначити кількість тарілок чи кількість одиниць переносу, треба графічно зобразити лінії робочого процесу в колоні. Колону безперервної дії від місця введення вихідної суміші ділять на дві частини: верхня частина колони називається змичнюючою, а нижня частина – вичерпною. Для кожної частини колони існує рівняння, що характеризує співвідношення концентрації парової та рідкої фаз, яке називається рівнянням робочої лінії колони.

Для виявлення зв'язку між потоками в будь-якому перетині колони ректифікації (маса, тепло і концентрації) слід подумки розрізати колону в

відповідному перерізі. Відокремити одну частину колони від іншої. Замінити відокремлену частину відповідними потоками маси і тепла і потім скласти матеріальні баланси для даної частини колони [5].

Після побудови діаграми  $x - y$  (див. рис. 2.3) будуються робочі лінії (див. рис. 2.5) для верхньої і нижньої частини колони. Для того щоб на діаграмі  $y - x$  визначити положення робочих ліній, потрібно знайти мінімальне і робоче флегмові числа.

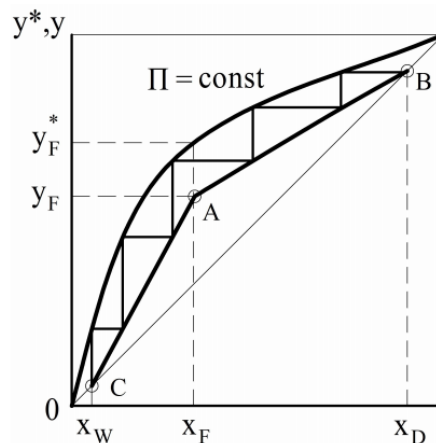


Рисунок 2.5 – Побудова рівноважної та робочих ліній на діаграмі  $y - x$  і графічне визначення числа теоретичних тарілок у ректифікаційній колоні:  $AB$  – робоча лінія верхньої частини колони;  $AC$  – робоча лінія нижньої частини колони.

Мінімальне флегмове число визначають за рівнянням [13, стр 321]:

$$R_{min} = \frac{y_D - y_F^*}{y_F^* - x_F'} \quad (2.32)$$

де  $x_D = y_D$ ;  $y_F^*$  – склад пари, що перебуває в рівновазі з вихідною сумішшю (див. рис. 2.4).

$$R_{min} = \frac{0,93 - 0,4}{0,4 - 0,24} = 3,313.$$

Робоче флегмове число визначають за залежністю [13, стр 321]:

$$R = 1,3 \cdot R_{min} + 0,3; \quad (2.33)$$

$$R = 1,3 \cdot 3,313 + 0,3 = 4,61.$$



Значення робочого флегмового числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати флегми, що стікає по колоні [17, стр. 28]:

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.34)$$

$$G_R = 4,61 \cdot 898 = 4139,78 \text{ кг/год.}$$

і парів, що піднімаються,

$$G_V = G_R + G_D = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.35)$$

$$G_V = (4,61 + 1) \cdot 898 = 5037,78 \text{ кг/год.}$$

При  $x = y_D$ ,  $y = y_D = 0,93$ , тобто робоча лінія проходить через точку В, що знаходяться на діагоналі діаграми  $x - y$  (див. рис. 2.5). Положення точки В залежить тільки від складу ректифікату і не залежить від величини потоку флегми.

Тому через точку В робоча лінія проходить незалежно від того, що змінюється маса потоку флегми по висоті колони.

При  $y = x_W$  та  $x = x_W = 0,03$ , тобто робоча лінія проходить через точку С, що знаходиться на діагоналі діаграми  $x - y$  (див. рис. 2.5). Положення точки С не залежить від потоку парів і флегми.

Тому через точку С робоча лінія проходить незалежно від того, як змінюється маса потоку парів по висоті колони.

Положення робочих ліній визначають за рівняннями [3; 13, стр. 320]:

- для верхньої (зміцнювальної) частини

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.36)$$

Це рівняння встановлює взаємозв'язок між поточними концентраціями НКК у паровій і рідкій фазі відповідно на різних тарілках по висоті колони.

- для нижньої (вичерпною) частини колони

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x + \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W. \quad (2.37)$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Це рівняння описує взаємозв'язок поточних концентрацій НКК у паровій і рідкій фазах на тарілках нижньої частини ректифікаційної колони з урахуванням питомої витрати вихідної суміші і дистиляту.

де  $F$  – число живлення (відношення мольних витрат вихідної суміші та дистиляту) [17, стр. 28]:

$$F = \frac{G_F}{G_D} \cdot \frac{M_D}{M_F'} \quad (2.38)$$

$$F = \frac{4750}{898} \cdot \frac{59,482}{73,303} = 4,292.$$

Ордината точки А (див. рис. 2.4), в якій перетинаються робочі лінії, визначається за рівнянням (2.36) або (2.37) підстановкою в них замість  $x$  значення  $x_F$ :

$$y_f' = \frac{R}{R+1} \cdot x_F + \frac{x_D}{R+1} \quad (2.39)$$

$$y_f' = \frac{4,61}{4,61+1} \cdot 0,24 + \frac{0,93}{4,61+1} = 0,363.$$

$$y_f'' = \frac{F+R}{R+1} \cdot x_F + \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W \quad (2.40)$$

$$y_f'' = \frac{4,292+4,61}{4,61+1} \cdot 0,24 + \frac{4,292-1}{4,61+1} \cdot 0,03 = 0,368.$$

Рівність значень  $y_f'$  і  $y_f''$  свідчить про відсутність помилок у виконаних розрахунках.

Побудувавши криву рівноваги для бінарної суміші, на осі абсцис відкладають концентрацію НКК у вихідній суміші, дистиляті і кубовому залишку ( $x_f$ ,  $x_d$ ,  $x_w$  відповідно), зтім на допоміжній діагоналі відбивають точку В, що відповідає умові  $x_d = y_d$ , а також точку С, що відповідає умові  $x_w = y_w$ . З'єднавши точки А і С, одержали пряму СА, що є робочою лінією нижньої (відгінної) частини ректифікаційної колони. Відрізок АВ є робочою лінією верхньої концентраційної частини колони (див. рису. 2.5) [3].

Кількість теоретичних тарілок у цьому разі знаходять побудовою прямокутних трикутників між робочою і рівноважною лініями на ділянці масообмінного процесу (див. рису. 2.5).

						XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			48

Кількість побудованих трикутників визначає кількість теоретичних тарілок. Якщо в межах робочих концентрацій не вписується ціле число ступенів, то кількість теоретичних тарілок, що відповідає останній неповній сходинці, дорівнює відношенню відрізка, що обмежує неповну сходинку, до вертикального відрізка між робочою лінією і лінією рівноваги, проведеному через середину основи неповної сходинки [18].

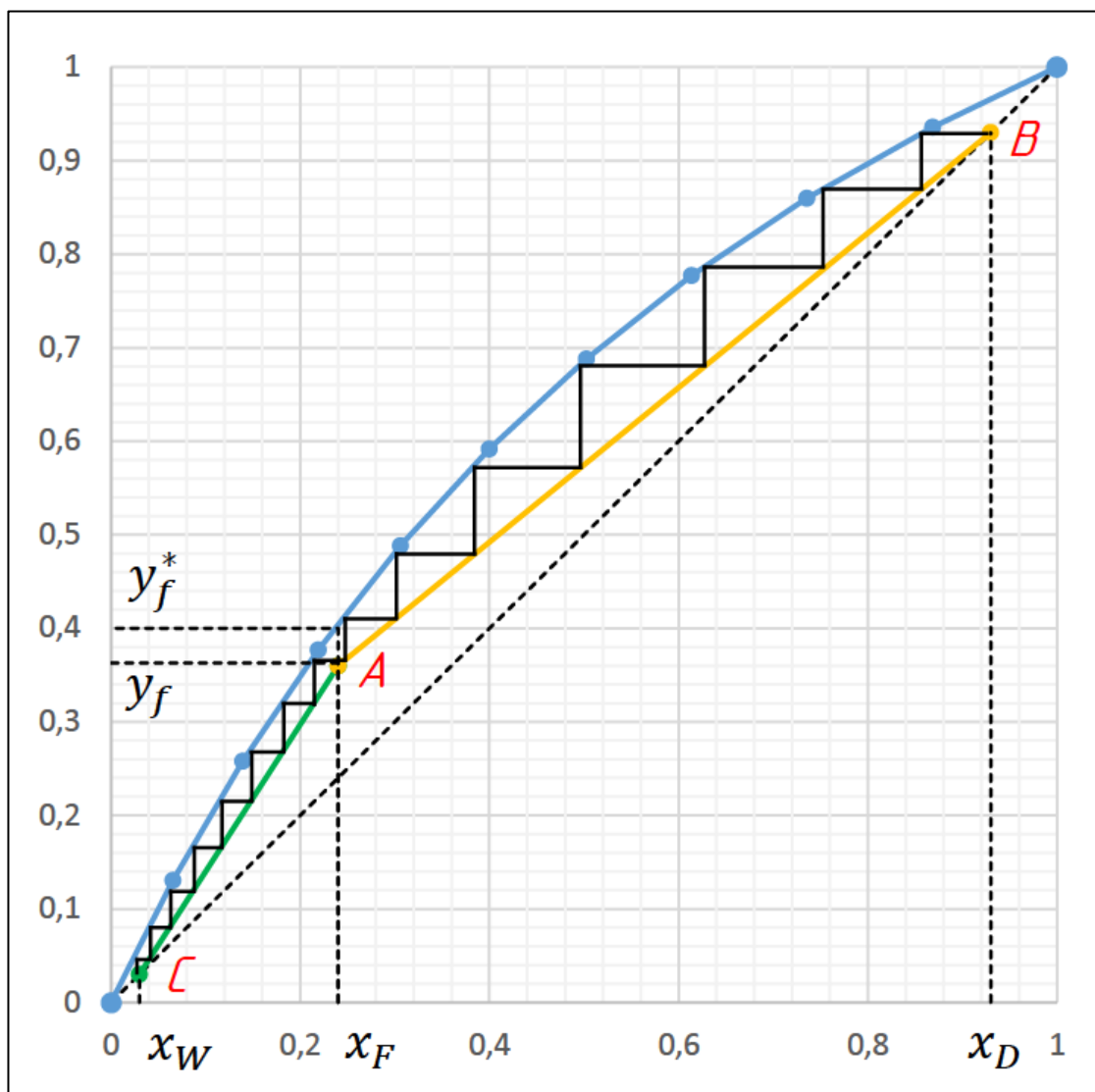


Рисунок 2.6 – Побудова рівноважної та робочих ліній на діаграмі  $x - y$  і графічне визначення числа теоретичних тарілок в ректифікаційній колоні:  $AB$  – робоча лінія верхньої частини колони;  $CA$  – робоча лінія нижньої частини колони.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

По побудованому графіку (див. рису. 2.6) визначаємо число теоретичних тарілок у кожній із частин ректифікаційної колони:

- в концентраційній частині ( $N_B$ ) – 7 тарілок,
- в відгінній частині ( $N_H$ ) – 8 тарілок.

### 2.1.3 Фізико-хімічні властивості парової і рідкої фаз для верху і низу колони

Середні мольні концентрації рідини визначають за середньоарифметичними залежностями [17, стр. 29]:

- у верхній частині колони

$$x^B = \frac{x_F + x_D}{2}; \quad (2.41)$$

$$x^B = \frac{0,24 + 0,93}{2} = 0,585 \text{ мол. дол.}$$

- у нижній частині колони

$$x^H = \frac{x_F + x_W}{2}. \quad (2.42)$$

$$x^H = \frac{0,24 + 0,03}{2} = 0,135 \text{ мол. дол.}$$

Середні мольні концентрації парової фази визначають за рівняннями робочих ліній (2.36) та (2.37):

- у верхній частині колони

$$y^B = \frac{R}{R+1} \cdot x^B + \frac{x_D}{R+1}. \quad (2.43)$$

- у нижній частині колони

$$y^H = \frac{F+R}{R+1} \cdot x^H - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.44)$$

де  $R$  – робоче флегмове число;  $F$  – число живлення (відношення мольних витрат вихідної суміші та дистильату).

$$y^B = \frac{4,61}{4,61+1} \cdot 0,585 + \frac{0,93}{4,61+1} = 0,647 \text{ мол. дол.},$$

$$y^H = \frac{4,292+4,61}{4,61+1} \cdot 0,135 - \frac{4,292-1}{4,61+1} \cdot 0,03 = 0,196 \text{ мол. дол.}$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Графік зміни складів рідини і пари від температури  $t - x - y$  – будується так (рис. 2.7):

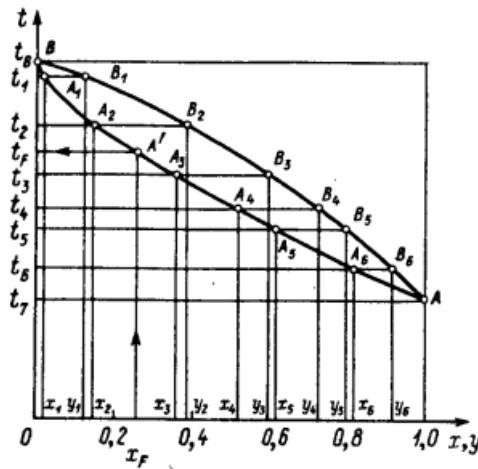


Рисунок 2.7 – Діаграма  $t - x - y$ .

Відповідно до табл. 2.2 відкладемо на осі ординат температури кипіння чистих компонентів  $t_A$  і  $t_B$  ( $A$  – ацетон,  $B$  – бензол) і температури кипіння  $t_1, t_2, t_3 \dots$ , відповідні складам рідкої фази  $x_1, x_2, x_3 \dots$ . Відновимо з цих точок перпендикуляри і, з'єднавши точки  $A_1, A_2, A_3, \dots$  плавною лінією, отримаємо криву  $A$  – лінію кипіння рідини. Потім на осі абсцис відкладаємо склади парової фази  $y_1, y_2, y_3$ , рівноважна з цією киплячою рідиною, і проводимо перпендикуляри до перетину  $c$  лініями, проведеними через  $t_1, t_2, t_3 \dots$ .

З'єднавши точки перетину  $B_1, B_2, B_3, \dots$ , плавною лінією, отримаємо криву  $B$  – лінію конденсації. За допомогою цього графіка можна визначити температуру рідини та пари будь-якого складу та навпаки, знайти склади рідини та пари при заданій температурі [5].

При цьому середні температури пари у верхній  $t_v^y$  і нижній  $t_v^x$  частинах колони визначаються по верхній гілці в залежності від концентрацій  $y^b$  і  $y^a$ , а середні температури рідини у верхній  $t_r^x$  і нижній  $t_r^y$  частинах колони – по нижній гілці в залежності від концентрацій  $x^b$  і  $x^a$  [17].

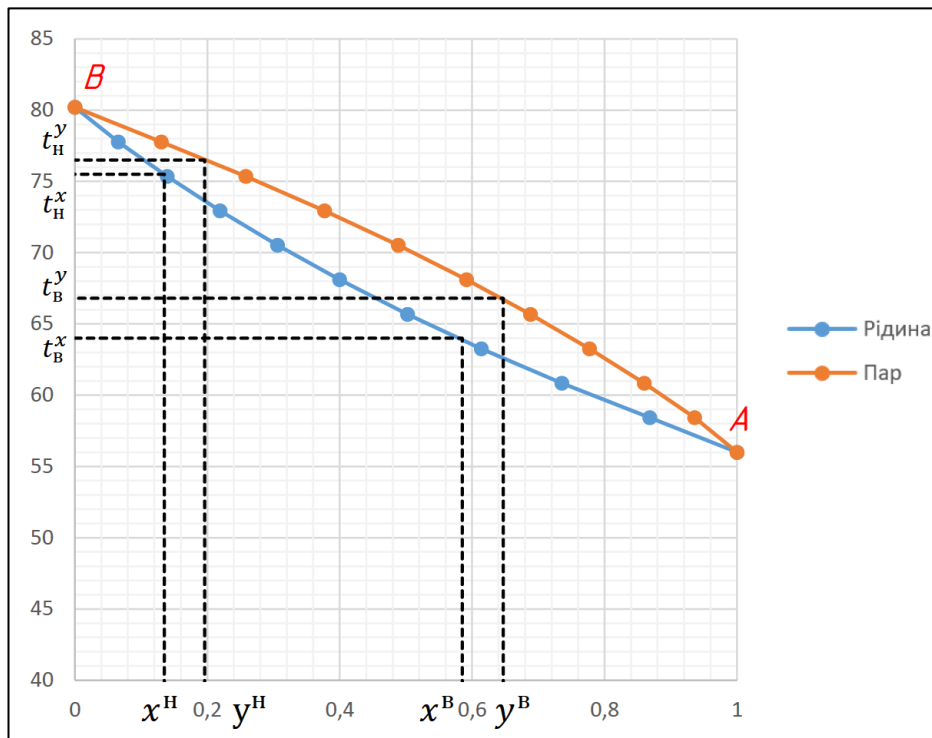


Рисунок 2.8 – Діаграма  $t - x, y$ .

Середні молярні маси рідини і пара [3, стр. 230]:

$$M_p^B = x^B \cdot M_A + (1 - x^B) \cdot M_B; \quad (2.44)$$

$$M_p^B = 0,585 \cdot 58,08 + (1 - 0,585) \cdot 78,11 = 66,392 \text{ кг/кмоль.}$$

$$M_p^H = x^H \cdot M_A + (1 - x^H) \cdot M_B; \quad (2.45)$$

$$M_p^H = 0,135 \cdot 58,08 + (1 - 0,135) \cdot 78,11 = 75,406 \text{ кг/кмоль.}$$

$$M_{п}^B = y^B \cdot M_A + (1 - y^B) \cdot M_B; \quad (2.46)$$

$$M_{п}^B = 0,647 \cdot 58,08 + (1 - 0,647) \cdot 78,11 = 65,151 \text{ кг/кмоль.}$$

$$M_{п}^H = y^H \cdot M_A + (1 - y^H) \cdot M_B; \quad (2.47)$$

$$M_{п}^H = 0,196 \cdot 58,08 + (1 - 0,196) \cdot 78,11 = 74,184 \text{ кг/кмоль.}$$

де  $M_A, M_B$  – молекулярна вага ацетону та бензолу в кг/год.

Перерахунок мольних концентрацій в масові [13, стр. 283]:

$$\bar{x}^B = \frac{x^B \cdot M_A}{M_p^B}; \quad (2.48)$$

$$\bar{x}^B = \frac{0,585 \cdot 58,08}{66,392} = 0,518 \text{ мас. дол.}$$

$$\bar{x}^H = \frac{x^H \cdot M_A}{M_p^H}; \quad (2.49)$$

$$\bar{x}^H = \frac{0,135 \cdot 58,08}{75,406} = 0,105 \text{ мас. дол.}$$

Середні щільності рідини [4, стр. 231]:

- для верхньої частини колони

$$\frac{1}{\rho_p^B} = \frac{\bar{x}^B}{\rho_A} + \frac{(1 - \bar{x}^B)}{\rho_B}, \quad (2.50)$$

де  $\rho_A$  та  $\rho_B$  – щільність рідини ацетону і бензолу відповідно при температурі:  $t_\theta^x = 64^\circ\text{C}$ ,  $\rho_A = 740,6 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_B = 831,8 \text{ кг/м}^3$  [13, табл. IV].

$$\frac{1}{\rho_p^B} = \frac{0,518}{740,6} + \frac{(1 - 0,518)}{831,8} = \frac{1}{0,0012789} \Rightarrow \rho_p^B = 781,922 \text{ кг/м}^3.$$

- для нижньої частини колони

$$\frac{1}{\rho_p^H} = \frac{\bar{x}^H}{\rho_A} + \frac{(1 - \bar{x}^H)}{\rho_B}, \quad (2.51)$$

де  $\rho_A$  та  $\rho_B$  – щільність рідини ацетону і бензолу відповідно при температурі:  $t_H^x = 75,5^\circ\text{C}$ ,  $\rho_A = 725,075 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_B = 819,725 \text{ кг/м}^3$  [13, табл. IV].

$$\frac{1}{\rho_p^H} = \frac{0,105}{725,075} + \frac{(1 - 0,105)}{819,725} = \frac{1}{0,00123664} \Rightarrow \rho_p^H = 808,643 \text{ кг/м}^3.$$

Середні щільності парів визначаються за рівнянням Клапейрона [4, стр. 231]:

- для верхньої частини колони

$$\rho_{II}^B = \frac{M_{II}^B \cdot T_0}{22,4 \cdot (T_0 + t_\theta^y)}, \quad (2.52)$$

де  $T_0$  – абсолютна температура, рівна 273 К;  $t_\theta^y = 66,8^\circ\text{C}$ .

$$\rho_{II}^B = \frac{65,151 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 66,8)} = 2,337 \text{ кг/м}^3.$$

- для нижньої частини колони

$$\rho_{\Pi}^H = \frac{M_{\Pi}^H \cdot T_0}{22,4 \cdot (T_0 + t_H^y)} \quad (2.53)$$

де  $t_H^y = 76,5^{\circ}\text{C}$ .

$$\rho_{\Pi}^H = \frac{74,184 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 76,5)} = 2,587 \text{ кг/м}^3.$$

Середні в'язкості рідини [4, стр. 231]:

- для верхньої частини колони

$$\lg \mu_p^B = x^B \cdot \lg \mu_A + (1 - x^B) \cdot \lg \mu_B, \quad (2.54)$$

де  $\mu_A$  та  $\mu_B$  – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини ацетону і бензолу відповідно при температурі:  $t_{\delta}^x = 64^{\circ}\text{C}$ ,  $\mu_A = 0,224 \cdot 10^{-3}$  Па·с,  $\mu_B = 0,3752 \cdot 10^{-3}$  Па·с [13, табл. IX].

$$\begin{aligned} \lg \mu_p^B &= 0,585 \cdot \lg(0,224 \cdot 10^{-3}) + (1 - 0,585) \cdot \lg(0,3752 \cdot 10^{-3}) = \\ &= 10^{-3,557} \Rightarrow \mu_p^B = 2,773 \cdot 10^{-4} \text{ Па·с.} \end{aligned}$$

- для нижньої частини колони

$$\lg \mu_p^H = x^H \cdot \lg \mu_A + (1 - x^H) \cdot \lg \mu_B, \quad (2.55)$$

де  $\mu_A$  та  $\mu_B$  – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини ацетону і бензолу відповідно при температурі:  $t_H^x = 75,5^{\circ}\text{C}$ ,  $\mu_A = 0,2075 \cdot 10^{-3}$  Па·с,  $\mu_B = 0,33265 \cdot 10^{-3}$  Па·с [13, табл. IX].

$$\begin{aligned} \lg \mu_p^H &= 0,135 \cdot \lg(0,2075 \cdot 10^{-3}) + (1 - 0,135) \cdot \lg(0,33265 \cdot 10^{-3}) = \\ &= 10^{-3,506} \Rightarrow \mu_p^H = 3,118 \cdot 10^{-4} \text{ Па·с.} \end{aligned}$$

Середні в'язкості парів [4, стр. 234]:

- для верхньої частини колони

$$\frac{M_{\Pi}^B}{\mu_{\Pi}^B} = \frac{y^B \cdot M_A}{\mu_A} + \frac{(1 - y^B) \cdot M_B}{\mu_B}, \quad (2.56)$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		





*Середні масові витрати:*

$$\bar{L}_B = L_B \cdot M_p^B; \quad (2.61)$$

$$\bar{L}_B = 0,0193 \cdot 66,392 = 1,281 \text{ кг/с.}$$

$$\bar{L}_H = L_H \cdot M_p^H; \quad (2.62)$$

$$\bar{L}_H = 0,0373 \cdot 75,406 = 2,813 \text{ кг/с.}$$

$$\bar{G}_B = G \cdot M_{II}^B; \quad (2.63)$$

$$\bar{G}_B = 0,0235 \cdot 65,151 = 1,531 \text{ кг/с.}$$

$$\bar{G}_H = G \cdot M_{II}^H; \quad (2.64)$$

$$\bar{G}_H = 0,0235 \cdot 74,184 = 1,743 \text{ кг/с.}$$

*Об'ємні витрати:*

$$V_p^B = \bar{L}_B / \rho_p^B; \quad (2.65)$$

$$V_p^B = 1,281 / 781,922 = 0,164 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$V_p^H = \bar{L}_H / \rho_p^H; \quad (2.66)$$

$$V_p^H = 2,813 / 808,643 = 0,348 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$V_{II}^B = \bar{G}_B / \rho_{II}^B; \quad (2.67)$$

$$V_{II}^B = 1,531 / 2,337 = 0,655 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$V_{II}^H = \bar{G}_H / \rho_{II}^H; \quad (2.68)$$

$$V_{II}^H = 1,743 / 2,587 = 0,674 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Таблиця 2.3 – Параметри потоків пари і рідини в колоні.

№ п/п	Найменування потoku	Розмірність параметра				
		кмоль/с	кг/кмоль	кг/м <sup>3</sup>	кг/с	м <sup>3</sup> /с
1	Рідина у верхній частині колони	$L_B$ = 0,0193	$M_p^B$ = 66,392	$\rho_p^B$ = 781,922	$\bar{L}_B$ = 1,281	$V_p^B$ = 0,164 $\cdot 10^{-2}$
2	Рідина у нижній частині колони	$L_H$ = 0,0373	$M_p^H$ = 75,406	$\rho_p^H$ = 808,643	$\bar{L}_H$ = 2,813	$V_p^H$ = 0,348 $\cdot 10^{-2}$
3	Пар у верхній частині колони	$G_B$ = 0,0235	$M_{II}^B$ = 65,151	$\rho_{II}^B$ = 2,337	$\bar{G}_B$ = 1,531	$V_{II}^B$ = 0,655
4	Пар в нижній частині колони	$G_H$ = 0,0235	$M_{II}^H$ = 74,184	$\rho_{II}^H$ = 2,587	$\bar{G}_H$ = 1,743	$V_{II}^H$ = 0,674

## 2.2 Розрахунок теплового балансу ректифікаційної колони

На базі рівнянь теплового балансу ректифікаційної колони визначають витрату зрідлої пари (або іншого теплоносія) та витрату холодоагентів для нормальної роботи теплообмінного обладнання (конденсатора-дефлегматора, підігрівника вихідної суміші, кип'ятильника-випарника, холодильників кубової рідини і дистилляту).

Схема теплових потоків ректифікаційної колони наведена на рис. 2.9 [18].

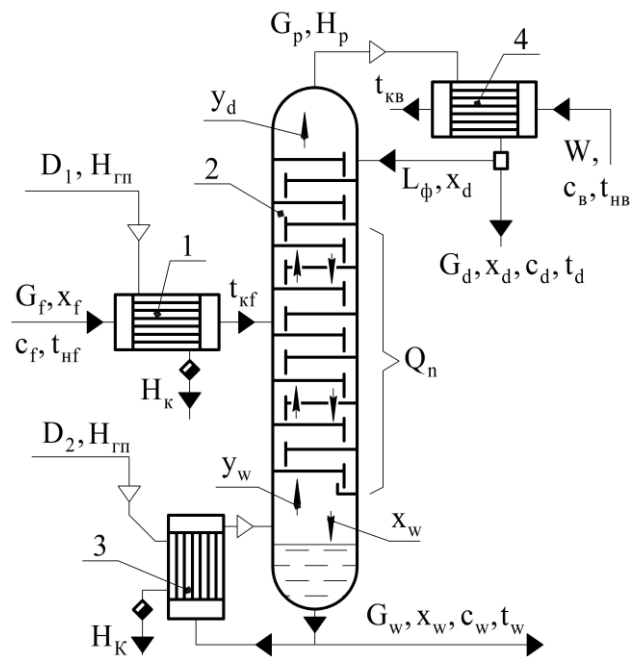


Рисунок 2.9 – Схема теплових потоків ректифікаційної колони:

- 1 – теплообмінник-підігрівник; 2 – колона ректифікаційна;
- 3 – кип'ятильник-випарник; 4 – конденсатор-дефлегматор.

Для виконання теплових розрахунків визначимо температури кипіння та теплоємності вихідної суміші, дистилляту та кубового залишку.

Для визначення температур кипіння на діаграмі  $t - x - y$  (див. рис. 2.8) на осі абсцис наносимо склад вихідної суміші  $x_f = 0,24$  мол. дол., дистиллята  $x_D = 0,93$  мол. дол. та кубового залишку  $x_w = 0,03$  мол. дол.

З отриманих точок проводимо вертикальні прямі до перетину з кривою

температур кипіння (відповідно точки А, В і С). З цих точок проводимо горизонтальні прямі до перетину з віссю ординат.

*Криві температур кипіння суміші ацетона – бензола (див рис. 2.8).*

Температури кипіння в відповідних точках перетину мають наступні значення: для вихідної суміші  $t_F = 72,3^\circ\text{C}$ , для дистиляту  $t_D = 57,2^\circ\text{C}$ , для кубового залишку  $t_W = 79^\circ\text{C}$  [5].

Питомі масові теплоємності рідин розраховуємо за правилом адитивності:

- вихідної суміші за температури кипіння  $t_F = 72,3^\circ\text{C}$ :

$$c_F = x_F \cdot c_{\text{ЛКК}}^F + (1 - x_F) \cdot c_{\text{ВКК}}^F; \quad (2.69)$$

$$c_F = 0,24 \cdot 2345,205 + (1 - 0,24) \cdot 1986,655 = 2072,707 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}).$$

- кубового залишку за температури кипіння  $t_D = 57,2^\circ\text{C}$ :

$$c_D = x_D \cdot c_{\text{ЛКК}}^D + (1 - x_D) \cdot c_{\text{ВКК}}^D; \quad (2.70)$$

$$c_D = 0,93 \cdot 2295,32 + (1 - 0,93) \cdot 1913 = 2268,558 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}).$$

- кубового залишку за температури кипіння  $t_W = 79^\circ\text{C}$ :

$$c_W = x_W \cdot c_{\text{ЛКК}}^W + (1 - x_W) \cdot c_{\text{ВКК}}^W; \quad (2.71)$$

$$c_W = 0,03 \cdot 2367,65 + (1 - 0,03) \cdot 2019,15 = 2029,605 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K}).$$

де  $c_{\text{ЛКК}}^F$ ,  $c_{\text{ЛКК}}^D$ ,  $c_{\text{ЛКК}}^W$ ,  $c_{\text{ВКК}}^F$ ,  $c_{\text{ВКК}}^D$ ,  $c_{\text{ВКК}}^W$  – масові теплоємності рідких легкокиплячого і висококиплячого компонентів за температур  $t_F$ ,  $t_D$  і  $t_W$  відповідно [18, табл. А.6].

Питомі теплоти фазових перетворень визначаємо за правилом адитивності:

- за конденсації дистилятних парів:

$$r_D = x_D \cdot r_{\text{ЛКК}}^D + (1 - x_D) \cdot r_{\text{ВКК}}^D; \quad (2.72)$$

$$r_D = 0,93 \cdot 521,688 + (1 - 0,93) \cdot 410,338 = 513,894 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

- під час кипіння кубової рідини:

$$r_w = x_w \cdot r_{ЛКК}^w + (1 - x_w) \cdot r_{ВКК}^w \quad (2.73)$$

$$r_w = 0,03 \cdot 495,66 + (1 - 0,03) \cdot 395,77 = 398,767 \text{ кДж/кг},$$

де  $r_{ЛКК}^D$ ,  $r_{ЛКК}^w$ ,  $r_{ВКК}^D$ ,  $r_{ВКК}^w$  – питомі теплоти фазових перетворень легкокиплячого і висококиплячого компонентів за температур  $t_D$  і  $t_w$  відповідно [18, табл. А.10].

Ентальпію дистилатних парів за температури  $t_D$  визначаємо за формулою:

$$H_P = r_D + c_D \cdot t_D; \quad (2.74)$$

$$H_P = 513,894 + 2,269 \cdot 57,2 = 643,681 \text{ кДж/кг}.$$

Кількість тепла, що підводиться з вихідною сумішшю за початкової температури  $t_{HF} = 20^\circ\text{C}$ , розраховуємо за рівнянням [18, (6.119)]:

$$Q_F = G_F \cdot c_F \cdot t_{HF}; \quad (2.75)$$

$$Q_F = \frac{4750}{3600} \cdot 2072,707 \cdot 20 = 54696,435 \text{ Вт}.$$

Кількість тепла, що підводиться з флегмою, розраховуємо за рівнянням [18, (6.120)]:

$$Q_R = G_R \cdot c_D \cdot t_D; \quad (2.76)$$

$$Q_R = \frac{4139,78}{3600} \cdot 2268,588 \cdot 57,2 = 149219,789 \text{ Вт}.$$

Кількість тепла, що відводиться з кубовим залишком, розраховуємо за рівнянням [18, (6.126)]:

$$Q_W = G_W \cdot c_W \cdot t_w; \quad (2.77)$$

$$Q_W = \frac{3852}{3600} \cdot 2029,605 \cdot 79 = 171562,511 \text{ Вт}.$$

Кількість тепла, що відводиться з дистилатними парами, розраховуємо за рівнянням [18, (6.127)]:

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

$$Q_P = G_D \cdot (R + 1) \cdot H_P; \quad (2.78)$$

$$Q_P = \frac{898}{3600} \cdot (4,61 + 1) \cdot 643,681 \cdot 10^3 = 900756,463 \text{ Вт.}$$

Ураховуючи, що максимальна температура в колоні не перевищує 80,2°C, візьмемо такі параметри водяної насиченої пари: тиск  $P_{2n} = 1 \text{ ат}$ , температура конденсації  $t_{2n} = 100^\circ\text{C}$ , питома теплота конденсації  $r_{2n} = 2264 \text{ кДж/кг}$ .

Візьмемо також, що теплові втрати в доквілля не перевищують 10 % від загальної кількості тепла, що підводиться з гріючою парою. Тоді витрату гріючої пари розраховуємо за рівнянням [18, (6.131)]:

$$D_{\text{гп}} = \frac{1,1 \cdot (Q_P - Q_R - Q_F + Q_W)}{r_{\text{гп}}}; \quad (2.79)$$

$$D_{\text{гп}} = \frac{1,1 \cdot (900756,463 - 149219,789 - 54696,435 + 171562,511)}{2264 \cdot 10^3} = 0,42 \text{ кг/с.}$$

Кількість тепла, що відводиться під час конденсації дистильованих парів у дефлегматорі, розраховуємо за рівнянням [18, (6.133)]:

$$Q_D = G_D \cdot (R + 1) \cdot r_D; \quad (2.80)$$

$$Q_D = \frac{898}{3600} \cdot (4,61 + 1) \cdot 513,894 \cdot 10^3 = 719134,7 \text{ Вт.}$$

Візьмемо початкову температуру охолоджувальної води  $t_{\text{нв}} = 15^\circ\text{C}$ , а її кінцеву температуру –  $t_{\text{кв}} = 35^\circ\text{C}$ , див. стр. 26. Тоді витрату охолоджувальної води в дефлегматорі розраховуємо за рівнянням [18, (6.134)]:

$$W = \frac{Q_D}{c_B \cdot (t_{\text{кв}} - t_{\text{нв}})}; \quad (2.81)$$

$$W = \frac{719134,7}{4190 \cdot (35 - 15)} = 8,58 \text{ кг/с.}$$

Кількість тепла для випаровування частини кубової рідини в кип'ятильнику-випарнику розраховуємо за рівнянням [18, (6.124)]:

$$Q_{\text{гп2}} = G_D \cdot (R + 1) \cdot r_W; \quad (2.82)$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Q_{\text{гп2}} = \frac{898}{3600} \cdot (4,61 + 1) \cdot 398,767 \cdot 10^3 = 558027,894 \text{ Вт.}$$

Середні температурні напори визначаємо за формулами:

- у кип'ятильнику

$$\Delta t_W = t_{\text{гп}} - t_{\text{W}}; \quad (2.83)$$

$$\Delta t_W = 100 - 79 = 21^\circ\text{C.}$$

- у конденсаторі

$$\Delta t_D = \frac{(t_D - t_{\text{HB}}) - (t_D - t_{\text{KB}})}{\ln \frac{t_D - t_{\text{HB}}}{t_D - t_{\text{KB}}}}; \quad (2.84)$$

$$\Delta t_D = \frac{(57,2 - 15) - (57,2 - 35)}{\ln \frac{57,2 - 15}{57,2 - 35}} = 31,14^\circ\text{C.}$$

Візьмемо такі значення коефіцієнтів теплопередачі [18, табл. 1.2]: у випарнику  $K_W = 700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , у конденсаторі  $K_D = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Тоді, поверхні теплообміну розраховуємо за рівняннями [18, (6.135) і (6.136)]:

- кип'ятильника-випарника

$$F_W = \frac{Q_{\text{гп2}}}{K_W \cdot \Delta t_W}; \quad (2.85)$$

$$F_W = \frac{558027,894}{700 \cdot 21} = 38 \text{ м}^2.$$

- конденсатора-дефлегматора

$$F_D = \frac{Q_D}{K_D \cdot \Delta t_D}; \quad (2.86)$$

$$F_D = \frac{719134,7}{500 \cdot 31,14} = 46,2 \text{ м}^2.$$

### 2.3 Визначення коефіцієнтів масопередачі

Розрахуємо коефіцієнти молекулярної дифузії в рідкій  $D_x$  та паровій  $D_y$  фазах.

Коефіцієнт дифузії у рідині при середній температурі  $t^\circ\text{C}$  дорівнює:

$$D_p = D_{p20}[1 + b(t - 20)]. \quad (2.87)$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		





Коефіцієнт дифузії у рідині верхній і нижній частині колони при середній температурі  $t^{\circ}\text{C}$  дорівнює:

$$D_{pB} = 4,15 \cdot 10^{-9} [1 + 0,0114(64 - 20)] = 6,232 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{pH} = 3,912 \cdot 10^{-9} [1 + 0,012(75,5 - 20)] = 6,52 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Коефіцієнт дифузії у паровій фазі може бути обчислений за рівнянням [4, с. 234]:

$$D_{\Pi} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot T^{3/2}}{P \cdot (v_A^{1/3} + v_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{1/M_p^B + 1/M_p^H}, \quad (2.90)$$

де  $T$  – середня температура у відповідній частині колони, К;  
 $P$  – абсолютний тиск у колоні, Па.

$$D_{\Pi B} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot (273 + 66,8)^{3/2}}{10^5 \cdot (74^{1/3} + 96^{1/3})^2} \cdot \sqrt{1/66,392 + 1/75,406} = 5,77 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$D_{\Pi H} = \frac{4,22 \cdot 10^{-2} \cdot (273 + 76,5)^{3/2}}{10^5 \cdot (74^{1/3} + 96^{1/3})^2} \cdot \sqrt{1/58,08 + 1/78,11} = 6,024 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Рівняння для розрахунку коефіцієнтів масовіддачі для тарілок барботажного типу мають вигляд [4, с. 239]:

$$\beta_p = 6,24 \cdot 10^5 \cdot D_p^{0,5} \cdot \left(\frac{U}{1 - \varepsilon}\right)^{0,5} \cdot h_{\text{срзл}} \cdot \left(\frac{\mu_{\Pi}}{\mu_p - \mu_{\Pi}}\right)^{0,5} \quad (2.91)$$

де  $\varepsilon$  – паросміст барботажного шару  $\varepsilon$  знаходять за формулою [4, с. 240]:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{Fr}}{1 + \sqrt{Fr}}; \quad (2.92)$$

де безрозмірний розрахунковий коефіцієнт,  $Fr$ :

$$Fr = \frac{w_T^2}{g \cdot h_{\text{зл}}}; \quad (2.93)$$

де величину  $h_{\text{зл}}$  розрахуємо попередньо за [19, (8.6)] без урахування винесення рідини:

$$h_{\text{зл}} = 0,68 \cdot (V_p/\Pi)^{0,67}; \quad (2.94)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- для верхньої частини колони:

$$h_{в зл} = 0,68 \cdot (0,00164/0,682)^{0,67} = 0,01196 \text{ м.}$$

- для нижньої частини колони:

$$h_{н зл} = 0,68 \cdot (0,00348/0,682)^{0,67} = 0,0198 \text{ м.}$$

Оскільки висота шару у верхній і нижній частині колони співмірні, відповідно до рекомендації [4, с.240] як розрахункове значення висоти шару приймемо середнє значення:

$$h_{ср зл} = \frac{h_{в зл} + h_{н зл}}{2}, \quad (2.95)$$

$$h_{ср зл} = \frac{0,01196 + 0,0198}{2} = 0,01588 \text{ м.}$$

Тоді, за формулою (2.93) знаходимо  $Fr$ :

$$Fr = \frac{1,148^2}{9,81 \cdot 0,01588} = 8,46.$$

За формулою (2.92) знаходимо  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{8,46}}{1 + \sqrt{8,46}} = 0,74.$$

Знайдемо  $U$ :

- для верхньої частини колони:

$$U_{в} = \frac{\bar{L}_{в}}{\rho_{р}^{в} \cdot 0,785 \cdot D_{к}^2}, \quad (2.96)$$

$$U_{в} = \frac{1,281}{781,922 \cdot 0,785 \cdot 1^2} = 0,0021 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с.}$$

- для нижньої частини колони:

$$U_{н} = \frac{\bar{L}_{н}}{\rho_{р}^{н} \cdot 0,785 \cdot D_{к}^2}, \quad (2.97)$$

$$U_{н} = \frac{2,813}{808,643 \cdot 0,785 \cdot 1^2} = 0,0044 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с.}$$

Отже, коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі, для верхньої та нижньої частин колони відповідно (2.91):

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

- для верхньої частини колони:

$$\beta_p = 6,24 \cdot 10^5 \cdot (6,232 \cdot 10^{-9})^{0,5} \cdot \left(\frac{0,0021}{1 - 0,74}\right)^{0,5} \cdot 0,0158 \cdot \left(\frac{0,264}{0,277 + 0,264}\right)^{0,5}$$

$$\beta_p = 0,0491 \text{ м}^2/\text{с}.$$

- для нижньої частини колони:

$$\beta_p = 6,24 \cdot 10^5 \cdot (6,52 \cdot 10^{-9})^{0,5} \cdot \left(\frac{0,0044}{1 - 0,74}\right)^{0,5} \cdot 0,0158 \cdot \left(\frac{0,727}{0,3118 + 0,727}\right)^{0,5}$$

$$\beta_p = 0,0871 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі, для верхньої та нижньої частин колони:

$$\beta_{\Pi} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot F_c \cdot D_{\Pi}^{0,5} \cdot \left(\frac{w_T}{\varepsilon}\right)^{0,5} \cdot h_{\text{ср зл}} \cdot \left(\frac{\mu_{\Pi}}{\mu_p - \mu_{\Pi}}\right)^{0,5}, \quad (2.98)$$

де  $F_c$  – відносна площа для прохода парів [4, стр. 214].

- для верхньої частини колони:

$$\beta_{\Pi В} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,115 \cdot (5,77 \cdot 10^{-6})^{0,5} \cdot \left(\frac{1,148}{0,74}\right)^{0,5} \cdot 0,0158 \cdot \left(\frac{0,264}{0,277 + 0,264}\right)^{0,5};$$

$$\beta_{\Pi В} = 2,382 \text{ м}^2/\text{с}.$$

- для нижньої частини колони:

$$\beta_{\Pi Н} = 6,24 \cdot 10^5 \cdot 0,115 \cdot (6,024 \cdot 10^{-6})^{0,5} \cdot \left(\frac{1,148}{0,74}\right)^{0,5} \cdot 0,0158 \cdot \left(\frac{0,727}{0,3118 + 0,727}\right)^{0,5};$$

$$\beta_{\Pi Н} = 2,914 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Зробимо перерахунок коефіцієнтів масвиддачі в рідкій та паровій фазі для верхньої та нижньої частини колони в кмоль/(м<sup>2</sup>·с), відповідно:

$$\beta_{p В} = 0,0491 \cdot \frac{\rho_p^B}{M_p^{B'}}. \quad (2.99)$$

$$\beta_{p В} = 0,0491 \cdot \frac{781,922}{66,392} = 0,578 \text{ кмоль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}.$$

$$\beta_{\Pi В} = 2,382 \cdot \frac{\rho_{\Pi}^B}{M_{\Pi}^{B'}}. \quad (2.100)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66



## 2.4 Конструктивні розрахунки апарату

Метою конструктивних розрахунків колонних апаратів є визначення їх діаметра залежно від технологічного призначення, продуктивності, типу контактних пристроїв, а також визначення робочої висоти апарата, зайнятої контактними пристроями [3].

### 2.4.1 Визначення діаметру колони

Згідно рекомендації [13, стр. 322] граничну швидкість пари в тарілчастій колоні рекомендується розраховувати за формулою:

$$w = C \cdot \sqrt{(\rho_p - \rho_n) / \rho_n}, \quad (2.105)$$

де  $C$  – коефіцієнт, який обирають за рисунком 2.11 залежно від конструкції тарілок, відстані між тарілками  $H$ , робочого тиску в колоні, навантаження колони за рідиною;

$\rho_p$  та  $\rho_n$  – щільність рідини і пара,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Приймаємо відстань між тарілками 0,5 м [6, стр. 519]. За графіком рисунка 2.10 визначаємо значення коефіцієнта  $C$  – величина залежить від навантаження тарілки, відстані між тарілками і поверхневого натягу рідини [13]. Крім того, при виборі відстані між тарілками необхідно враховувати можливість спінювання рідини та бризковинос із тарілок [3].

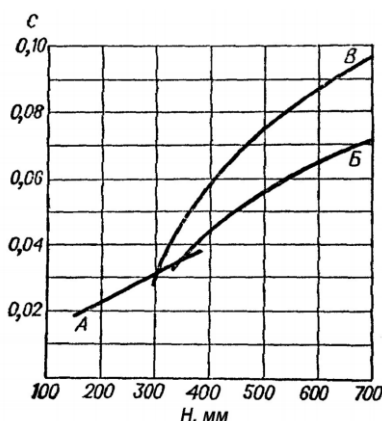


Рисунок 2.10 – Значення коефіцієнта  $C$ : А, Б – ковпачкові тарілки.

де  $h = 500$  мм.

Тоді,

Значення коефіцієнта  $C$ :

- для ковпачкові тарілки  $C_k = 0,055$ .

Визначаємо граничну швидкість пари в тарілчастій колоні визначаємо:

- для верхньої частини колони:

$$w_{\text{Гр}}^{\text{В}} = C \sqrt{(\rho_{\text{р}}^{\text{В}} - \rho_{\text{п}}^{\text{В}}) / \rho_{\text{п}}^{\text{В}}}; \quad (2.106)$$

$$w_{\text{Гр}}^{\text{В}} = 0,055 \sqrt{(781,922 - 2,337) / 2,337} = 1,00453 \text{ м/с.}$$

- для нижньої частини колони:

$$w_{\text{Гр}}^{\text{Н}} = C \sqrt{(\rho_{\text{р}}^{\text{Н}} - \rho_{\text{п}}^{\text{Н}}) / \rho_{\text{п}}^{\text{Н}}}; \quad (2.107)$$

$$w_{\text{Гр}}^{\text{Н}} = 0,055 \sqrt{(808,643 - 2,587) / 2,587} = 0,970839 \text{ м/с.}$$

Визначаємо діаметр ректифікаційної колони [5]:

Орієнтовний діаметр колони визначають із рівняння витрати відповідно до рекомендації [4, с. 237]:

$$D = \sqrt{4 \cdot G / (\pi \cdot w \cdot \rho_{\text{п}})}; \quad (2.108)$$

Тоді,

- діаметр верхньої частини колони:

$$D_{\text{В}} = \sqrt{4 \cdot 1,531 / (3,14 \cdot 1,00453 \cdot 2,337)} = 0,912 \text{ м.}$$

- діаметр нижньої частини колони:

$$D_{\text{Н}} = \sqrt{4 \cdot 1,743 / (3,14 \cdot 0,970839 \cdot 2,587)} = 0,940 \text{ м.}$$

Як правило, незважаючи на різницю в розрахованих діаметрах верхньої та нижньої частин колони виготовляють колону єдиного діаметра, що дорівнює більшому з розрахованих [4, с.231].

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Відповідно до рекомендації [4, с.238] про необхідність вибору виконавчої величини діаметра колони зі стандартних значень представлених у [4, с.197] як виконавчий діаметр проектованої колони прийmemo:  $D_k = 1,0$  м.

Тоді відповідно до [4, с.238] робоча швидкість пари, м/с:

$$w = w_{\text{гр}} \cdot \left(\frac{D}{D_k}\right)^2; \quad (2.109)$$

- у верхній частині колони:

$$w_{\text{П}}^{\text{В}} = 1,00453 \cdot \left(\frac{0,912}{1,0}\right)^2 = 0,835 \text{ м/с.}$$

- у нижній частині колони:

$$w_{\text{П}}^{\text{Н}} = 0,970839 \cdot \left(\frac{0,940}{1,0}\right)^2 = 0,858 \text{ м/с.}$$

#### 2.4.2 Визначення ККД ковпачкових тарілок для вибраного діаметру колони

На величину ККД реально впливають конструктивні особливості (тип) тарілки, швидкість газу в колоні, летючість і густина пари компонентів, а також в'язкість рідини.

По графіку на рис. 2.11 визначаємо ККД тарілок [3].

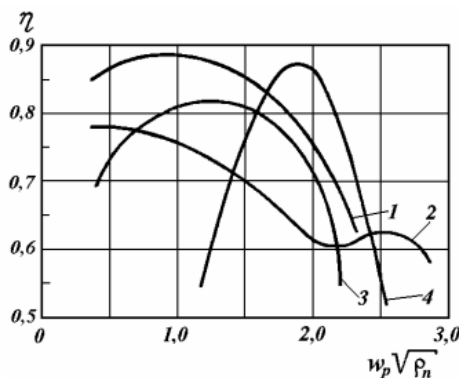


Рисунок 2.11 – Приблизні значення ККД тарілок:

1 – клапанна; 2 – ситчаста; 3 – ковпачкова (карсульна); 4 – решітчаста.

Приймаємо ККД ковпачкової тарілки 0,8.



Основні параметри ковпачкової роздірної тарілки [2, стр. 258, IX.1]:

- діаметр – 1000 мм;
- загальна довжина зливу – 685 мм;
- робоча площа тарілки – 57,9%;
- вільний перетин тарілки – 11,3%;
- число ковпачків – 43;
- діаметр ковпачка – 80 мм;
- крок ковпачків – 110 мм;
- вага тарілки – 90 кг.

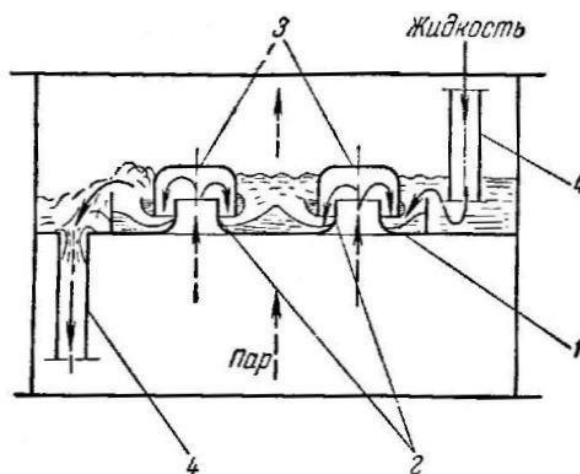


Рисунок 2.12 – Схема роботи ковпачкової тарілки:

1 - тарілка; 2 - газові патрубкі; 3 - ковпачки; 4 - зливні трубки.

Відповідно до рекомендації [4, с.238] здійснимо розрахунок швидкості пари в робочому перерізі тарілки, м/с:

$$w_T = w_{\text{п ср}} \cdot 0,785 \cdot \frac{D_K^2}{S_T}, \quad (2.110)$$

$$\text{де } w_{\text{п ср}} = \frac{w_{\text{п}}^B + w_{\text{п}}^H}{2};$$

$$w_{\text{п ср}} = \frac{0,835 + 0,858}{2} = 0,8465 \text{ м/с.}$$

$S_T$  – робочий переріз тарілки,  $S_T = 0,579 \text{ м}^2$  [2, стр. 258, IX.1]:

$$w_T = 0,8465 \cdot 0,785 \cdot \frac{1^2}{0,579} = 1,148 \text{ м/с.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 2.4.3 Визначення дійсного числа тарілок

Практичне число реальних тарілок у масообмінному апараті можна визначити при відомому числі теоретичних тарілок за залежністю [3, стр.130]:

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{т}}/\eta_{\text{ср}}, \quad (2.111)$$

де  $\eta_{\text{ср}}$  – середній ККД тарілки для масообмінного апарата.

Тоді,

- для концентраційної частини:

$$N_{\text{пр.конц.}} = \frac{7}{0,8} = 8,75 \approx 9 \text{ тарілок.}$$

- для відгінної секції:

$$N_{\text{пр.відг.}} = \frac{8}{0,8} = 10 \text{ тарілок.}$$

Сумарне число реальних тарілок:

$$N_{\text{пр.сум.}} = N_{\text{пр.конц.}} + N_{\text{пр.відг.}} = 9 + 10 = 19 \text{ тарілок.}$$

Відстань між тарілками вибирають залежно від діаметра колони, типу контактного пристрою, режиму його роботи, висоти шару піни на тарілці, а також від необхідності періодичних оглядів, чищення та ремонту. При установці люків – лазів відстань між тарілками звичайно приймають не меншою 450 мм [3].

### 2.4.4 Розрахунок висоти колони [3, 4]

Висота колони розраховується за формулою:

$$H = H_{\text{в}} + H_{\text{у}} + H_{\text{х}} + H_{\text{к}} + H_{\text{оп}}, \quad (2.112)$$

де  $H_{\text{в}}$  – висота зони над верхньою тарілкою, необхідна для монтажу штуцера розподільника рідини і сепарації потоків,  $H_{\text{в}} = 1,65$  м;

$H_{\text{у}}$  – висота відгонної частини колони,  $H_{\text{у}} = N_{\text{відг.}} \cdot h$ .

де  $N_{\text{відг.}}$  – число дійсних тарілок у відгінній частині колони,  $N_{\text{відг.}} = 10$ ;  
 $h = 0,5$  м – відстань між тарілками.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тоді,  $H_Y = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ м}$ ;

$H_X$  – висота концентраційної частини колони,  $H_X = (N_{\text{конц.}} - 1) \cdot h$ ,

де  $N_{\text{конц.}}$  – число дійсних тарілок в концентраційній частини колони,

$N_{\text{конц.}} = 9$ ;

Тоді,  $H_X = (9 - 1) \cdot 0,5 = 4 \text{ м}$ ;

$H_K$  – висота зони під нижньою тарілкою, необхідна для створення стовпа рідини, що забезпечує самоплив,  $H_K = 1,5 \text{ м}$ ;

$H_{\text{оп}}$  – висота опори,  $H_{\text{оп}} = 2 \text{ м}$ .

Тоді, висота колони:

$H = 1,65 + 5 + 4 + 1,5 + 2 = 14,15 \text{ м}$ .

#### 2.4.5 Розрахунок діаметра штуцерів

Діаметри штуцерів визначаються в залежності від об'ємної витрати і допустимої лінійної швидкості потоку. Допустима лінійна швидкість в штуцерах залежить від агрегатного стану потоку, фактичного напору, допустимої втрати напору. Схема розташування штуцерів представлена на рисунку 2.13.

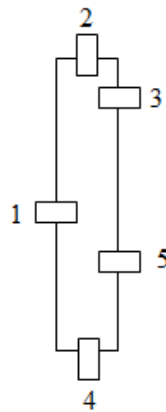


Рисунок 2.13 – Схема розташування штуцерів:

1 – штуцер для введення сировини; 2 – штуцер для виведення парів з верху колони; 3 – штуцер для введення холодного зрошення; 4 – штуцер для виведення рідини з колони; 5 – штуцер для введення пари з кип'ятильника.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Штуцер 1 – для введення сировини.

Так як, в колону надходить рідка суміш ацетон – бензолу, необхідно визначити секундну витрату рідини.

Визначимо густину рідкої фази при  $t_F = 20^\circ\text{C}$ :

$$\rho_{20} = \frac{1}{\frac{\bar{x}_F}{\rho_{\text{ННК}}} + \frac{1 - \bar{x}_F}{\rho_{\text{ВКК}}}} \quad (2.113)$$

$$\rho_{20} = \frac{1}{\frac{0,1902}{791} + \frac{1 - 0,1902}{879}} = 860,786 \text{ кг/м}^3.$$

Розрахуємо секундний об'єм рідини:

$$V_p = \frac{F}{\rho_{20} \cdot 3600} \quad (2.114)$$

$$V_p = \frac{4750}{860,786 \cdot 3600} = 0,001533 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Допустима швидкість пари приймається за [4, стр.16] 1 м/с,  $W_D = 1 \text{ м/с}$ , і розраховується переріз по рідині:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_p}{\pi \cdot W_D}} \quad (2.115)$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001533}{3,14 \cdot 1}} = 0,0442 \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр штуцера для входу сировини  $d_1 = 0,1 \text{ м}$ .

Штуцер 2 – для виводу пари дистилляту.

Діаметр штуцера 2 для виводу з колони пари:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{п}}^{\text{B}}}{\pi \cdot W_D}} \quad (2.116)$$

де  $W_D$  – допустима швидкість парів,  $W_D = 30 \text{ м/с}$ .

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,655}{3,14 \cdot 30}} = 0,1667 \text{ м}.$$

Приймаємо діаметр штуцера для виведення з колони пари  $d_2 = 0,2 \text{ м}$ .

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74







$$h_{г.б} = \frac{0,7}{808,643} \cdot 98100^{0,35} = 0,0484 \text{ м.}$$

Знайдемо за [19, (8.8)] висоту зливного порогу:

$$h_{пор} = h_{г.б} - h_{зл} + h_{пр} + h_{у}, \quad (2.225)$$

де  $h_{у} = 0 - 10 \text{ мм}$  – висота установки колпачка (відстань від тарілки до нижнього торця ковпачка).

$$h_{пор} = 0,0484 - 0,0198 + 0,025 + 0,01 = 0,0636 \text{ м.}$$

Для подальших розрахунків нам знадобляться коефіцієнти  $k_1$ ;  $k_2$ ;  $k_3$ ;  $k_4$ ;  $n_1$ , які ми приймаємо за [19, табл.8.3]  $23 \cdot 10^{-5}$ ; 0,23; 440; 4,6; 1,16.

Висота піни, що утвориться на тарілці, відповідно до [19, (8.5)] складе:

$$h_{пн} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} \cdot (k_3 \cdot k_p^2 \cdot \rho_{п} + k_4 \cdot h_{зл} + h_{пор}), \quad (2.226)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг,  $\sigma = 0,032 \text{ Дж/м}^2$ .

$$h_{пн} = \frac{0,23}{0,032^{0,33}} \cdot (0,044 \cdot 1,2^2 \cdot 2,587 + 4,6 \cdot 0,0198 + 0,0636) = 0,288 \text{ м.}$$

Величина відносного винесення рідини відповідно до [19, (8.4)] буде:

$$Y = \frac{k_1}{\sigma} \cdot \left( \frac{w_p}{H_T - h_{пн}} \right)^{1,16} \quad (2.227)$$

$$Y = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{0,032} \cdot \left( \frac{1,2}{0,5 - 0,228} \right)^{1,16} = 0,04021 < 0,1.$$

Отже, відстань між тарілками вибрана правильно.

Дійсне навантаження зливного пристрою за рідиною розраховуємо [19, (8.7)]:

$$V_{р.д} = V_p + \frac{G_n \cdot Y}{\rho_p} \quad (2.228)$$

$$V_{р.д} = 0,00348 + \frac{1,743 \cdot 0,04021}{808,643} = 0,0036 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Дійсна висота підпору рідини над зливним порогом за формулою (2.222):

$$h_{зл} = 0,68 \cdot (0,0036/0,682)^{0,67} = 0,02.$$

						XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			78



Не відрізняється від раніше розрахованої  $h_{зл} = 0,02$  м.

Перевіримо працездатність зливного пристрою тарілки за [19, (8.12), (8.13)].

Для цього розрахуємо [19, (8.12)] швидкість рідини у зливному пристрої:

$$w_{р.зл} = V_{р.д}/F_{зл}, \quad (2.229)$$

де  $F_{зл} = 0,064$  – площа зливного пристрою [19, табл. 8.6].

$$w_{р.зл} = 0,0036/0,064 = 0,0563 \text{ м/с.}$$

Відповідно до залежності [19, (8.12)] комплекс  $k_5 H_T^{n_2} = 0,205 \cdot 0,5^{0,65} = 0,131$ ,

де  $k_5$ ;  $n_2$  – коефіцієнти які ми вибираємо за [19, табл.8.5], що дорівнюють 0,250; 065 відповідно.

Отже, вимоги [10, (8.12)]  $w_{р.зл} < k_5 H_T^{n_2}$  дотримуються і захливання зливного пристрою не відбудеться.

Швидкість рідини у зазорі між основою тарілки та нижньою крайкою зливного стакану розраховуємо за [19, (8.13)]:

$$w_{р.зл} = V_{р.д}/(\Pi \cdot a) \quad (2.230)$$

$$w_{р.зл} = 0,0036/(0,682 \cdot 0,06) = 0,088 \text{ м/с} < 0,45 \text{ м/с.}$$

З наведених розрахунків випливає, що вибрана тарілка забезпечує нормальну роботу зливних пристроїв.

Опір сухої тарілки визначаємо за [19, (8.16)]:

$$\Delta p_{сух} = \zeta \frac{\rho_n \cdot w_0^2}{2}, \quad (2.231)$$

де  $w_0$  – швидкість пари у парових патрубках дорівнює:

$$w_0 = \frac{V_{п}}{F_0}, \quad (2.232)$$

де  $F_0$  – площа проходу пари, за [17, табл. 8.6],  $F_0 = 0,090 \text{ м}^2$ .

$$w_0 = \frac{0,674}{0,090} = 7,48 \text{ м/с.}$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Коефіцієнт опору для ковпачка діаметром  $D_{кл} = 80$  мм буде:

$$\zeta = 1,73D_{кл}^{-0,25} \quad (2.233)$$

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

$$\Delta p_{сух} = 3,25 \frac{2,587 \cdot 7,48^2}{2} = 235,21 \text{ Па.}$$

Коефіцієнт перепаду рівня рідини на тарілці відповідно до [19, (8.17)]:

$$\Delta h = 0,1 \cdot \lambda_e \frac{l_p \cdot V_p^2}{\Pi^2 (h_{пор} + h_{зл})^3 \cdot g}, \quad (2.234)$$

де  $\lambda_e = 16$ .

$$\Delta h = 0,1 \cdot 16 \frac{0,722 \cdot 0,00348^2}{0,682^2 (0,0636 + 0,0198)^3 \cdot 9,81} = 0,0053 \text{ м.}$$

Опір шару рідини на тарілці розраховуємо за [19, (8.16)]:

$$\Delta p_p = \left( h_{пор} + \frac{h_{пор} + \Delta h}{2} \right) \cdot \rho_p \cdot g \quad (2.235)$$

$$\Delta p_p = \left( 0,0636 + \frac{0,0198 + 0,0053}{2} \right) \cdot 808,643 \cdot 9,81 = 604,1 \text{ Па.}$$

Загальний опір тарілки дорівнює:

$$\Delta p_T = \Delta p_{сух} + \Delta p_p \quad (2.236)$$

$$\Delta p_T = 235,21 + 604,1 = 839,31 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір робочої частини колони:

$$\Delta p_K = \Delta p_T \cdot n \quad (2.237)$$

$$\Delta p_K = 839,31 \cdot 19 = 15946,8 \text{ Па.}$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

### 2.5.1 Розрахунок кип'ятильника-випарника [13]

Кількість тепла для випаровування частини кубової рідини в кип'ятильнику-випарнику розраховуємо за рівнянням [18, (6.124)] див. формулу (2.82):

$$Q_{\text{гп2}} = 558\,027,894 \text{ Вт.}$$

Середній температурний напір див. формулу (2.83):

- у кип'ятильнику,  $\Delta t_w = 21^\circ\text{C}$ .

Тоді, поверхня теплообміну див. формулу (2.85):

- кип'ятильника-випарника,  $F_w = 38 \text{ м}^2$ .

Витрата водяної пари:

$$G_{\text{ВП}} = Q_{\text{гп}}/r, \quad (2.238)$$

де  $r$  – теплота конденсації водяного пара див. 4 абзац стр. 54,  $r_{\text{гп}} = 2264 \text{ кДж/кг}$ .

$$G_{\text{ВП}} = 558027,894 / 2264 = 246,48 \text{ кг/год.}$$

Приймаємо по [18, табл.Б.1, 20] теплообмінник типу ТН з площею поверхні теплообміну  $F = 40 \text{ м}^2$ , 1-о ходовий, діаметром  $D = 630 \text{ мм}$  і довжиною трубі  $l = 2 \text{ м}$ .

### 2.5.2 Розрахунок дефлегматора [13]

Для розрахунку поверхні конденсатора-холодильника обчислюється середній температурний напір між теплообмін. середовищами – дистиллятом і водою.

Середній температурний напір див. формулу (2.84):

- у конденсаторі,  $\Delta t_D = 31,14^\circ\text{C}$ .

Тоді, поверхня теплообміну див. формулу (2.86):

- конденсатора-дефлегматора,  $F_D = 46,2 \text{ м}^2$ .

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Приймаємо по [18, табл.Б.1, 20] теплообмінник типу ТН з площею поверхні теплообміну  $F = 47 \text{ м}^2$ , 2-о ходовий, діаметром  $D = 630 \text{ мм}$  і довжиною труби  $l = 2 \text{ м}$ .

Розрахунок витрати води на охолодження дистилляту:

$$G_B = \frac{Q_D}{c_B \cdot (t_H - t_K)}, \quad (2.239)$$

де  $c_B$  – теплоємність води,  $c_B = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

$$G_B = \frac{719134,7}{4,19 \cdot (35 - 15)} = 8581,56 \text{ кг/год.}$$

### 2.5.3 Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [13]

Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з  $\tau = 6 - 8$  годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення  $\psi = 0,8 \dots 0,85$ . Приймаємо  $\psi = 0,85$ .

Розрахунковий об'єм ємності розраховують за формулою:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho} \quad (2.240)$$

$$V_{EP} = \frac{4750 \cdot 8}{0,85 \cdot 835} = 53,5 \text{ м}^3.$$

За розрахунковим об'ємом вибираю ємкісний горизонтальний цільнозварний апарат з еліптичними днищами ГЕЕ1-1-63-0,6 (номінальний об'єм  $52,4 \text{ м}^3$ ) виготовлений за ТУ 3615-132-21640502-2015.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

### 3. РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки апарату [1, 10, 21]

##### 3.1.1 Розрахунок допустимих напружень

Допустимі напруження для матеріалу корпусу сталь 09Г2С:

$[\sigma]$  – напруження, що допускається, для сталі 09Г2С, з якої виготовлена обичайка при  $t = 75^\circ\text{C}$ ,  $[\sigma] = 182,5 \text{ МПа}$ .

$[\sigma]_{20}$  – напруження, що допускається, для сталі 09Г2С, з якої виготовлена обичайка при  $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $[\sigma]_{20} = 196 \text{ МПа}$ .

Розрахункове значення межі текучості для сталі 09Г2С при  $t = 20^\circ\text{C}$ :  
 $\sigma_{m20} = 300 \text{ МПа}$ .

Допустиме напруження в умовах гідравлічних випробувань розрховується за формулою:

$$[\sigma]_{и} = \sigma_{m20} / 1,1 \quad (3.1)$$

$$[\sigma]_{и} = 300 / 1,1 = 273 \text{ МПа}$$

##### Розрахунковий та пробний тиск корпусу

Розрахунковий тиск в апараті за робочих умов,

$$P_R = p + p_r, \quad (3.2)$$

де  $p$  – робочий тиск в апараті,  $p = 1 \text{ атм} = 0,1 \text{ МПа}$ ;

$p_r$  – гідростатичний тиск робочого середовища.

Максимальне значення гідростатичного тиску робочого середовища:

$$p_r = \rho \cdot g \cdot h, \quad (3.3)$$

де  $\rho$  – щільність води при температурі  $t = 20^\circ\text{C}$  (гідровипробування проводять водою),  $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$h$  – висота колони, без урахування опори,  $h = 12,25 \text{ м}$ .

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

$$p_r = 998 \cdot 9,81 \cdot 12,25 = 0,12 \text{ МПа} > 5\%p.$$

Оскільки гідростатичний тиск більше 5% від тиску у середині апарату ( $p = 1 \text{ атм}$ ), то розрахунковий тиск розраховується за формулою (3.2):

$$P_R = 0,1 + 0,12 = 0,22 \text{ МПа}.$$

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні корпусу:

$$p_{\text{и}} = \frac{1,25 \cdot P_R \cdot [\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (3.4)$$

де  $[\sigma]_{20}$  – напруження, що допускається, для сталі 09Г2С, з якої виготовлена обичайка при  $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $[\sigma]_{20} = 196 \text{ МПа}$ .

$$p_{\text{и}} = \frac{1,25 \cdot 0,22 \cdot 196}{182,5} = 0,295 \text{ МПа}.$$

### 3.1.2 Розрахунок товщини стінки обичайки

Циліндрові обичайки є одним з основних елементів хімічних апаратів. З однієї або декількох обичайок утворюється циліндровий корпус апарату.

Вихідні дані:

Діаметр апарату  $D_{\text{вн}} = 1000 \text{ мм}$ ;

Робоча температура середовища  $t = 75^\circ\text{C}$ ;

Робочий тиск в апараті  $P = 0,1 \text{ МПа}$ ;

Розрахунковий тиск  $P_R = 0,22 \text{ МПа}$ ;

Матеріал – сталь 09Г2С.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

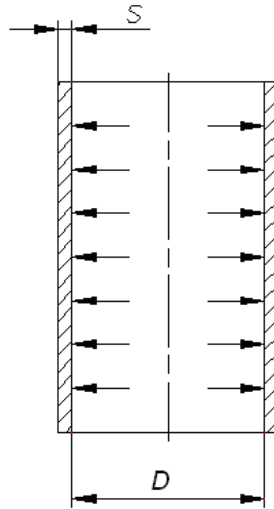


Рисунок 3.1 – Схема навантаження обичайки внутрішнім тиском.

Товщина стінки обичайки, навантаженої внутрішнім надмірним тиском визначається по формулі:

$$s_R = \max \left\{ \frac{P_R \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_R}, \frac{p_{и} \cdot D_B}{2 \cdot [\sigma]_{и} \cdot \varphi - p_{и}} \right\}, \quad (3.5)$$

де  $[\sigma]$  – напруга, що допускається, для матеріалу обичайки 09Г2С при розрахунковій температурі  $t_p = 75^\circ\text{C}$ ,  $[\sigma] = 182,5$  МПа;

$D$  – внутрішній діаметр апарату,  $D = 1000$  мм;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності зварного стикового шва, що виконується автоматичною або напівавтоматичною зваркою,  $\varphi = 1,0$ ;

$p_{и}$  – пробний тиск при гідравлічних випробуваннях, що розраховується по формулі (2.4),  $p_{и} = 0,295$  МПа;

$[\sigma]_{и}$  – допустиме напруження в умовах гідравлічних випробувань розраховується за формулою (3.1).

$$s_R = \max \left\{ \frac{0,22 \cdot 1000}{2 \cdot 182,5 \cdot 1 - 0,22}, \frac{0,295 \cdot 1000}{2 \cdot 273 \cdot 1 - 0,295} \right\} = \max \{0,603, 0,541\} = 0,603.$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Виконавча товщина стінки циліндрової обичайки корпусу в першому наближенні визначається по формулі:

$$s = s_R + c, \quad (3.6)$$

де  $c$  – загальна прибавка до розрахункової товщини стінки циліндрової обичайки визначається по формулі:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.7)$$

де  $c_1$  – надбавка для компенсації корозії, ерозії,  $c_1 = 2$  мм;

$c_2$  – надбавка для компенсації мінусового допуску товщини листа,  $c_2 = 0,8$  мм;

$c_3$  – надбавка для компенсації стоншування листа при технологічних операціях: гідке, штампуванню,  $c_3 = 0$  мм.

Тоді:

$$c = 2 + 0,8 + 0 = 2,8 \text{ мм.}$$

Отже, виконавча товщина циліндрової обичайки корпусу:

$$s = 0,603 + 2,8 = 3,403 \text{ мм.}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки з урахуванням забезпечення жорсткості  $s = 6,0$  мм.

### **Допустимий тиск для обичайки корпусу**

Перевіряємо працездатність обичайки на внутрішній надлишковий тиск, що допускається, за робочих умов:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - c)}{D_B + (s - c)} \quad (3.8)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 182,5 \cdot 1 \cdot (6 - 2,8)}{1000 + (6 - 2,8)} = 1,16 \text{ МПа.}$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86



$$[P]_{И} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{И} \cdot \varphi \cdot (s - c)}{D_B + (s - c)} \quad (3.9)$$

$$[P]_{И} = \frac{2 \cdot 273 \cdot 1 \cdot (6 - 2,8)}{1000 + (6 - 2,8)} = 1,74 \text{ МПа.}$$

$$[P] > P_R - 1,16 \text{ МПа} > 0,22 \text{ МПа.}$$

$$[P]_{И} > P_{И} - 1,74 \text{ МПа} > 0,295 \text{ МПа.}$$

Отже, умова міцності обчисайки виконана.

Умова вживаності формул:

$$\frac{(s - c)}{D_B} < 0,1 \quad (3.10)$$

$$\frac{6 - 2,8}{1000} = 0,0032 < 0,1 - \text{умова виконується.}$$

### 3.1.3 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища

Вихідні дані:

Діаметр днища  $D_{\text{дн}} = 1000 \text{ мм}$ ;

Робоча температура середовища  $t = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Робочий тиск в апараті  $P = 0,1 \text{ МПа}$ ;

Розрахунковий тиск  $P_R = 0,22 \text{ МПа}$ ;

Матеріал сталь 09Г2С.

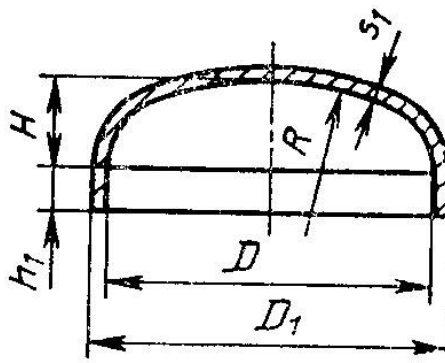


Рисунок 3.2 – Схема вантажання еліптичного днища внутрішнім тиском.

						Лист
						87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Товщина стінки обичайки днища, навантаженої внутрішнім надмірним тиском, визначається по формулі:

$$s_R^d = \max \left\{ \frac{P_R \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P_R}, \frac{p_{\text{и}} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_{\text{и}} \cdot \varphi - 0,5 \cdot p_{\text{и}}} \right\}, \quad (3.11)$$

де  $R$  – радіус кривизни в вершині днища,  $R = 1000$  мм;

$R = D_{\text{вн}}$  – для еліптичних днищ з  $H = 0,25 \cdot D_{\text{вн}} = 250$  мм [19, стр. 379].

$$s_R^d = \max \left\{ \frac{0,22 \cdot 1000}{2 \cdot 182,5 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,22}, \frac{0,295 \cdot 1000}{2 \cdot 273 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,295} \right\} = \max \left\{ 0,603, 0,54 \right\} = 0,603.$$

Загальна прибавка до розрахункової товщини стінки еліптичного днища визначається за формулою (3.7):

$$c = 2 + 0,8 + 0 = 2,8 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина еліптичного днища визначається за формулою (3.6):

$$s = 0,603 + 2,8 = 3,403 \text{ мм.}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки днища з урахуванням забезпечення жорсткості  $s = 6,0$  мм.

### Допустимий тиск для еліптичного днища

Перевіряємо працездатність днища на внутрішній надлишковий тиск, що допускається, за робочих умов:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - c)}{R + 0,5 \cdot (s - c)} \quad (3.12)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 182,5 \cdot 1 \cdot (6 - 2,8)}{1000 + 0,5 \cdot (6 - 2,8)} = 1,16 \text{ МПа.}$$

$$[P]_{\text{и}} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{\text{и}} \cdot \varphi \cdot (s - c)}{D_{\text{в}} + (s - c)} \quad (3.13)$$

$$[P]_{\text{и}} = \frac{2 \cdot 273 \cdot 1 \cdot (6 - 2,8)}{1000 + (6 - 2,8)} = 1,74 \text{ МПа.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

$$[P] > P_R - 1,16 \text{ МПа} > 0,22 \text{ МПа.}$$

$$[P]_{и} > P_{и} - 1,74 \text{ МПа} > 0,295 \text{ МПа.}$$

Отже, умова міцності днища виконана.

Перевіряємо умови застосування формул:

$$0,002 \leq \frac{s_{д-с}}{D} \leq 0,1 \quad (3.14)$$

$$0,002 \leq \frac{6 - 2,8}{1000} \leq 0,1 = 0,002 \leq 0,0032 \leq 0,1.$$

$$0,2 \leq \frac{H}{D} \leq 0,5 \quad (3.15)$$

$$0,2 \leq \frac{0,25 \cdot 1000}{1000} \leq 0,5 = 0,2 \leq 0,25 \leq 0,5.$$

Довжину циліндричної віддортованої частини днища приймаємо  $h_1 = 25 \text{ мм}$  [19, стр. 379].

**Висновок:** Умова міцності виконується, отже вибрана товщина стінок в апараті задовольняє умові міцності в робочих умовах і в умовах гідровипробувань.

### 3.2 Розрахунок вагових характеристик і вибір опори [1, 10]

Встановлення хімічних апаратів на фундаменти або спеціальні несучі конструкції здійснюється за допомогою опор. Вибір опори залежить від низки умов: розмірів апарату, місця встановлення, маси апарата. У цьому проекті вибираємо опору для вертикальних циліндричних апаратів [4].

Висота циліндричних опор  $H_{опор}$  повинна бути не менше 600 мм та вибирається за умовами експлуатації апарату. Приймаємо висоту опори рівною –  $H_{опор} = 2000 \text{ мм}$ .

Матеріал деталей опор повинен вибиратися виходячи з умов експлуатації та відповідно до технічних вимог ГСТУ 3-17-193-2000. Межа плинності матеріалу має бути не менше 210 МПа при температурі 20°C. Приймаємо матеріал деталей циліндричної опори – сталь ВСтЗ [1].

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

Мінімальне наведене навантаження – сила від ваги порожнього апарату:

$$Q_{\min} = (m_k + m_T) \cdot g, \quad (3.16)$$

де  $m_k$  – маса колони, кг;

$m_T$  – маса тарілок, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Маса колони дорівнює:

$$m_k = (V_{\text{об}} + V_{\text{дн}} + V_{\text{кр}}) \cdot \rho \cdot k, \quad (3.17)$$

де  $V_{\text{об}}$  – об'єм обичайки,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{дн}}$  – об'єм днища,  $\text{м}^3$ ;

$V_{\text{кр}}$  – об'єм кришки,  $\text{м}^3$ ;

$\rho$  – щільність сталі 09Г2С,  $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ ;

$k$  – коефіцієнт, що враховує масу патрубків, фланців, люків.

Об'єм обичайки дорівнює:

$$V_{\text{об}} = \frac{\frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot s)^2}{4} \cdot H_{\text{д}} - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_{\text{д}}}{H_{\text{д}}}, \quad (3.18)$$

де  $D$  – внутрішній діаметр колони,  $D = 1 \text{ м}$ ;

$s$  – товщина стінки апарату,  $s = 0,006 \text{ м}$ ;

$H_{\text{д}}$  – висота циліндричної частини колони,  $H_{\text{д}} = 11,7 \text{ м}$ .

$$V_{\text{об}} = \frac{\frac{3,14 \cdot (1 + 2 \cdot 0,006)^2}{4} \cdot 11,7 - \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 11,7}{11,7} = 0,00162 \text{ м}^3.$$

Об'єм днища та кришки дорівнює:

$$V_{\text{дн}} = V_{\text{кр}} = 0,1499 \text{ м}^3 \text{ (за ГОСТ 6533-78)}.$$

Тоді, маса колони дорівнює:

$$m_k = (0,00162 + 2 \cdot 0,1499) \cdot 7850 \cdot 1,25 = 2957,7 \text{ кг}.$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Маса тарілок дорівнює:

$$m_T = n \cdot m_{к.т.},$$

де  $n$  – кількість тарілок,  $n = 19$  шт;

$m_{к.т.}$  – маса ковпачкової тарілки,  $m_{к.т.} = 90$  кг [2].

$$m_T = 19 \cdot 90 = 1710 \text{ кг.}$$

Отже, мінімальне навантаження:

$$Q_{min} = (2957,7 + 1710) \cdot 9,81 = 45790,14 \text{ Н.}$$

Перевірка міцності зварного з'єднання в місці з'єднання корпусу з циліндричною опорою [1, стр. 306]:

$$\sigma = \frac{Q_{max}}{\pi \cdot D \cdot a_1} \leq \phi_{min}\{[\sigma]_0; [\sigma]_к\}, \quad (3.19)$$

де  $Q_{max}$  – максимальне наведене навантаження, що враховує вагу рідини в апараті, Н;

$a_1$  – товщина зварного шва,  $a_1 = 0,006$  м;

$D$  – діаметр опори та апарата,  $D = 1$  м;

$[\sigma]_0$  – допустима напруга для матеріалу опори, сталь ВСтЗ,

$$[\sigma]_0 = 154 \text{ МПа [21];}$$

$[\sigma]_к$  – допустима напруга для матеріалу колони, сталь 09Г2С,

$$[\sigma]_к = 196 \text{ МПа [21];}$$

$\phi$  – коефіцієнт міцності зварного шва,  $\phi = 0,9$ .

$$Q_{max} = V \cdot \rho \cdot g + Q_{min}, \quad (3.20)$$

де  $V$  – об'єм рідини в колоні, м<sup>3</sup>;

$\rho$  – щільність води,  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Приймаємо об'єм рідини в колоні 60% від об'єму апарату:

$$Q_{max} = 0,6 \cdot \left[ \left( \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} \cdot 12,25 \right) \right] \cdot 1000 \cdot 9,81 + 45790,14 = 102391,4 \text{ Н.}$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

Тоді,

$$\sigma = \frac{0,1023914}{3,14 \cdot 1 \cdot 0,006} = 5,44 \text{ МПа.}$$

$$0,9 \cdot \min[154; 196] = 138,6 \text{ Мпа.}$$

5,44 МПа < 138,6 МПа - умова міцності зварного шва виконана.

Опору вибирають залежно від наведеного навантаження  $Q_{\max}$  та  $Q_{\min}$ .

Вибираємо за табл. 14.9, 14.10 та 14.11 [1] (ГСТУ 3-17-193-2000) стандартну циліндричну опору для колонного апарату тип 2 (див. рис. 3.3).

Діаметр колони  $D - 1000$  мм, навантаження –  $Q_{\max} = 0,25 (25 \cdot 10^3)$  МН (кгс),  $Q_{\min} = 0,125 (12,5 \cdot 10^3)$  МН (кгс), висота опори  $H_{\text{опор}} - 2000$  мм, товщина стінки циліндричної опори  $s - 6$  мм.

Опора 2 – 1000 – 25 – 12,5 – 2000 ГСТУ 3-17-193-2000.

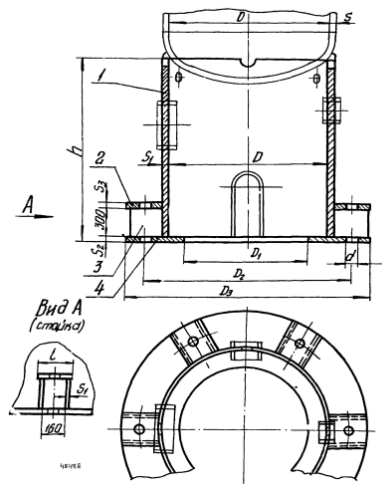


Рисунок 3.3 – Конструкція стандартної циліндричної опори типу 2 – з кільцевим опорним поясом за ГСТУ 3-17-193-2000.

1 – обчайка; 2 – планка; 3 – ребро; 4 – кільце нижнє.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

### 3.3 Розрахунок на вітрове навантаження [19]

За відношенням висоти апарату до його діаметру  $H/D = 14,135/1 \approx 15 \geq 15$ , тому розрахункова схема апарату вибирається у вигляді консольного стержня з жорсткою посадкою в фундамент.

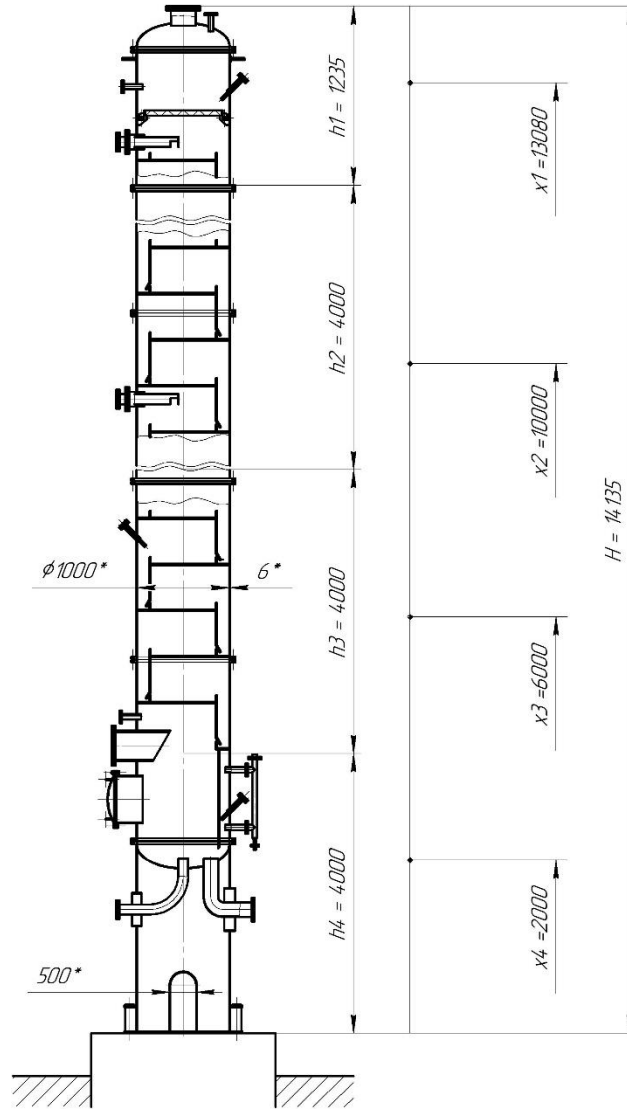


Рисунок 3.4 – Схема розбиття апарату на ділянки.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

Розраховуємо середній діаметр корпусу апарата:

$$D_{\text{cp}} = D + (s - c) \quad (3.21)$$

$$D_{\text{cp}} = 1 + (0,006 - 0,0028) = 1,0032 \text{ м.}$$

Момент інерції поперечних перерізів корпусу розраховується за формулою:

$$J = \frac{\pi}{8} \cdot D_{\text{cp}}^3 \cdot (s - c) \quad (3.22)$$

$$J = \frac{3,14}{8} \cdot 1,0032^3 \cdot (0,006 - 0,0028) = 0,0013 \text{ м}^4.$$

Період власних коливань апарату визначаємо за формулою [10, (29.27)]:

$$T = 1,79 \cdot H \sqrt{\frac{GH}{EJg}}, \quad (3.23)$$

де  $H$  – висота апарата,  $H = 14,135$  м;

$E$  – модуль нормальної пружності матеріала корпусу апарата при робочій температурі,  $E = 2 \cdot 10^5$ ;

$G$  – вага апарату з рідиною,  $G = Q_{\text{max}} = 102391,4$  Н;

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

$$T = 1,79 \cdot 14,135 \sqrt{\frac{0,102 \cdot 14,135}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,0013 \cdot 9,81}} = 0,602 \text{ с.}$$

Визначаємо за [10, рис. 29.14] географічний район II, для цього району нормативний швидкісний напір для ділянок за [10, табл. 29.14] дорівнює  $q = 0,035 \cdot 10^{-2}$  Мн/м<sup>2</sup>.

Поправочний коефіцієнт до нормативного швидкісного напору для ділянок апарату  $H > 10$  м визначаємо за графіком [10, рис. 29.15]  $\theta = 1,2$ .

Розрахунковий швидкісний напір за ділянками:

$$q_1 = q_2 = q_3 = \theta \cdot q \quad (3.24)$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = 1,2 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} = 0,00042 \text{ Мн/м}^2.$$

$$q_4 = q = 0,035 \cdot 10^{-2} \text{ Мн/м}^2.$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94



Коефіцієнт динамічності визначаємо за графіком [11, рис. 29.16]  $\varepsilon = 1,3$ .

Коефіцієнт пульсації швидкісного напору визначаємо за графіком [10, рис. 29.17] для всіх ділянок  $m = 0,35$ .

Коефіцієнт збільшення швидкісного напору визначаємо за формулою [10, (29.26)]:

$$\beta = 1 + \varepsilon \cdot m \quad (3.25)$$

$$\beta = 1 + 1,3 \cdot 0,35 = 1,455.$$

Силу вітрової нагрузки, що діє на кожну ділянку апарату визначаємо за формулою [10, (29.34)]:

$$P_i = 0,6 \cdot \beta \cdot q_i \cdot D \cdot h_i, \quad (3.26)$$

де  $h_i$  – висота  $i$ -ої ділянки апарату.

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,455 \cdot 0,00042 \cdot 1 \cdot 2,135 = 0,000783 \text{ Мн.}$$

$$P_2 = P_3 = 0,6 \cdot 1,455 \cdot 0,00042 \cdot 1 \cdot 4 = 0,00146 \text{ Мн.}$$

$$P_4 = 0,6 \cdot 1,455 \cdot 0,035 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 4 = 0,0012 \text{ Мн.}$$

Згинальний момент від вітрового навантаження на апарат відносно його основи визначаємо за формулою [10, (29.35)]:

$$M_{Bi} = P_i \cdot x_i, \quad (3.27)$$

де  $x_i$  – відстань  $i$ -ої ділянки від основи апарату.

$$M_{B1} = 0,000783 \cdot 13,08 = 0,01024 \text{ Мн.}$$

$$M_{B2} = 0,00146 \cdot 10 = 0,0146 \text{ Мн.}$$

$$M_{B3} = 0,00146 \cdot 6 = 0,00876 \text{ Мн.}$$

$$M_{B4} = 0,0012 \cdot 2 = 0,0024 \text{ Мн.}$$

Отже,

$$\sum M_B = 0,01024 + 0,0146 + 0,00876 + 0,0024 = 0,036 \text{ Мн.}$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

### 3.4 Розрахунок опори апарату

Напруга стиснення в стінці циліндричної опори з урахуванням наявності в ній отвору для лаза  $d = 0,5$  м при максимальному навантаженні від сили тяжіння апарату визначаємо за формулою [10, (15.52)]:

$$\sigma_c = \frac{G_{max}}{[\pi \cdot (D + s) - d] \cdot (s - c)} \quad (3.28)$$

де  $G_{max}$  – вага апарату з рідиною,  $G_{max} = Q_{max} = 102391,4$  Н.

$$\sigma_c = \frac{0,102}{[3,14 \cdot (1 + 0,006) - 0,5] \cdot (0,006 - 0,0028)} = 11,98 \text{ Мн/м}^2 \text{ (119,8 кгс/см}^2\text{)}.$$

Напруга на вигин у тій самій стінці за тих самих умов визначаємо за формулою [10, (15.53)]:

$$\sigma_u = \frac{4 \cdot M_B}{\pi \cdot (D + s)^2 \cdot (s - c)} \quad (3.29)$$

де  $M_B$  – згинальний момент від вітрового навантаження на апарат відносно його основи,  $M_B = 0,036$  Мн.

$$\sigma_u = \frac{4 \cdot 0,036}{3,14 \cdot (1 + 0,006)^2 \cdot (0,006 - 0,0028)} = 14,55 \text{ Мн/м}^2 \text{ (145,5 кгс/см}^2\text{)}.$$

Розрахуємо відношення:

$$\frac{D}{2 \cdot (s - c)} = \frac{1}{2 \cdot (0,006 - 0,0028)} = 156,25.$$

Для цього відношення визначимо коефіцієнти  $k_c$  та  $k_u$  за графіком [10, рис.15.8]:  $k_c = 0,14$ ;  $k_u = 0,15$ .

Коефіцієнт  $K_c$  визначаємо за формулою [10, (15.38)]:

$$K_c = 875 \cdot \frac{\sigma_t}{E} \cdot k_c, \quad (3.30)$$

де  $\sigma_t$  – межа текучості матеріала циліндричної опори, сталь ВСтЗ,  $\sigma_t = 250$  МПа;

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

$E$  – модуль нормальної пружності матеріала циліндричної опори при робочій температурі,  $E = 2 \cdot 10^5$ .

$$K_c = 875 \cdot \frac{250}{2 \cdot 10^5} \cdot 0,14 = 0,153.$$

Коефіцієнт  $K_u$  визначаємо за формулою [10, (15.47)]:

$$K_u = 875 \cdot \frac{\sigma_t}{E} \cdot k_u \quad (3.31)$$

$$K_u = 875 \cdot \frac{250}{2 \cdot 10^5} \cdot 0,15 = 0,164.$$

Допустимі напруження на стиснення в обичайці опори визначаємо за формулою [10, (15.35)]:

$$\sigma_{сд} = K_c \cdot E \cdot \frac{(s-c)}{D} \quad (3.32)$$

$$\sigma_{сд} = 0,153 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{(0,006 - 0,0028)}{1} = 97,92 \text{ МН/м}^2 \text{ (979,2 кгс/см}^2\text{)}.$$

Допустимі напруження на згиб в обичайці опори визначаємо за формулою [10, (15.44)]:

$$\sigma_{ид} = K_u \cdot E \cdot \frac{(s-c)}{D} \quad (3.33)$$

$$\sigma_{ид} = 0,164 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{(0,006 - 0,0028)}{1} = 104,96 \text{ МН/м}^2 \text{ (1049,6 кгс/см}^2\text{)}.$$

Умова стійкості циліндричної опори визначаємо за формулою [10, (15.51)]:

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{сд}} + \frac{\sigma_n}{\sigma_{ид}} < 1 \quad (3.34)$$

$$\frac{11,98}{97,92} + \frac{14,55}{104,96} = 0,261 < 1.$$

Отже, умова виконана, тобто стійкість забезпечена.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

Максимальне напруження на стиснення у зварному шві, з'єднующим циліндричну опору з корпусом апарата, при коефіцієнті  $\phi = 0,9$  визначаємо за формулою:

$$\sigma_{max} = \frac{G_{max}}{\phi \cdot \pi \cdot (D + s) \cdot (s - c)} + \frac{4 \cdot \sum M_B}{\phi \cdot \pi \cdot (D + s)^2 \cdot (s - c)} < \sigma_{ид}, \quad (3.35)$$

де  $G_{max}$  – вага апарату з рідиною,  $G_{max} = Q_{max} = 102391,4 \text{ Н}$  (0,102 МН);

$\sum M_B$  – згинальний момент від вітрового навантаження на апарат відносно його основи,  $\sum M_B = 0,036 \text{ МН}$ ;

$\sigma_{ид}$  – допустиме напруження на згиб для матеріала кільця,  $\sigma_{ид} = 150 \text{ МН/м}^2$  [22].

$$\sigma_{max} = \frac{0,102}{0,9 \cdot 3,14 \cdot (1 + 0,006) \cdot (0,0006 - 0,0028)} + \frac{4 \cdot 0,036}{0,9 \cdot 3,14 \cdot (1 + 0,006)^2 \cdot (0,006 - 0,0028)} =$$

$$= 26,95 \text{ МН/м}^2 < 150 \text{ МН/м}^2 \text{ – умова виконана.}$$

Внутрішній діаметр опорного кільця визначаємо за формулою [10, (29.38)]:

$$D_2 = D - 0,06 \quad (3.36)$$

$$D_2 = 1 - 0,06 = 0,94 \text{ м.}$$

Зовнішній діаметр опорного кільця визначаємо за формулою [10, (29.39)]:

$$D_1 = D + 2 \cdot s + 0,2, \quad (3.37)$$

де  $s$  – товщина стінки циліндричної опори,  $s = 6 \text{ мм}$ .

$$D_1 = 1 + 2 \cdot 0,006 + 0,2 = 1,212 \text{ м.}$$

Опорну площу кільця визначаємо за формулою [10, (29.40)]:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \quad (3.38)$$

$$F = \frac{3,14}{4} \cdot (1,212^2 - 0,94^2) = 0,46 \text{ м}^2.$$

Момент опору опорної площі кільця визначаємо за формулою [10, (29.41)]:

$$W = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D_1^4 - D_2^4)}{D_1} \quad (3.39)$$

$$W = \frac{3,14}{32} \cdot \frac{(1,212^4 - 0,94^4)}{1,212} = 0,112 \text{ м}^3.$$

Максимальні напруження стиснення на опорній поверхні кільця визначаємо за формулою [10, (29.42)]:

$$\sigma_{\max} = \frac{G_{\max}}{F} + \frac{\sum M_B}{W} \quad (3.40)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{0,102}{0,46} + \frac{0,036}{0,112} = 0,543 \text{ Мн/м}^2 < 10 \text{ Мн/м}^2 - \text{ умова виконана.}$$

Номинальна розрахункова товщина опорного кільця  $l = 0,1$  м за формулою [10, (29.43)]:

$$s'_k = 1,731 \cdot l \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ид}}}} \quad (3.41)$$

$$s'_k = 1,731 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{\frac{0,543}{150}} = 0,0104 \text{ м.}$$

З урахуванням прибавки на корозію приймаємо,  $s'_k = 20$  мм.

Найменші напруження на опорній поверхні кільця визначаємо за формулою [10, (29.46)]:

$$\sigma = \frac{G_{\max}}{F} - \frac{\sum M_B}{W} \quad (3.42)$$

$$\sigma = \frac{0,102}{0,46} - \frac{0,036}{0,112} = -0,0996 \text{ Мн/м}^2.$$

Знак мінус показує необхідність установлення фундаментальних болтів.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Загальне розрахункове навантаження на фундаментальні болти визначаємо за формулою [10, (29.47)]:

$$P_{\sigma} = 0,785 \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \sigma \quad (3.43)$$

$$P_{\sigma} = 0,785 \cdot (1,212^2 - 0,94^2) \cdot 0,0996 = 0,046 \text{ Мн (4,6 тс).}$$

Приймаємо кількість фундаментальних болтів  $z = 6$ .

Навантаження на один болт визначаємо за формулою [10, (29.48)]:

$$P_{\sigma 1} = \frac{P_{\sigma}}{z} \quad (3.44)$$

$$P_{\sigma 1} = \frac{0,046}{6} = 0,0076 \text{ Мн.}$$

Розрахунковий внутрішній діаметр різі болтів визначаємо за формулою [10, (29.49)]:

$$d_{\text{вб}} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\sigma 1}}{\pi \cdot \sigma_d}} + c, \quad (3.45)$$

де  $\sigma_d$  – матеріал фундаментальних болтів – сталь с  $\sigma_d = 230 \text{ Мн/м}^2$  [10].

$$d_{\text{вб}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0076}{3,14 \cdot 230}} + 0,0028 = 0,0093 \text{ м} = 9,3 \text{ мм.}$$

За ОСТ 26-467-78 приймаємо беремо болт М24 (діаметр отвору,  $d_1 = 32 \text{ мм}$ ), що задовольняє умову.

Діаметр болтової окружності визначаємо за формулою [10, (29.50)]:

$$D_{\sigma} = D + 2 \cdot s + 0,12 \quad (3.46)$$

$$D_{\sigma} = 1 + 2 \cdot 0,006 + 0,12 = 1,132 \text{ м.}$$

Приймаємо  $D_{\sigma} = 1160 \text{ мм}$ .

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100

Отже, вибрана конструкція стандартної циліндричної опори типу 2 – з кільцевим опорним поясом ГСТУ 3-17-193-2000 задовольняє умову вхідних даних і забезпечує стійкість конструкції з урахуванням вагових і вітрових навантажень.

### 3.5 Розрахунок фланцевого з'єднання

За ДСТУ 28759.2:2008 Фланці посудин і апаратів сталеві плоскі приварені. Конструкція і розміри (ГОСТ 28759.2-90, IDT) відповідно до вхідних даних вибираємо конструкцію фланця – сталевий плоский приварний з ущільнювальною поверхнею «шип-паз».

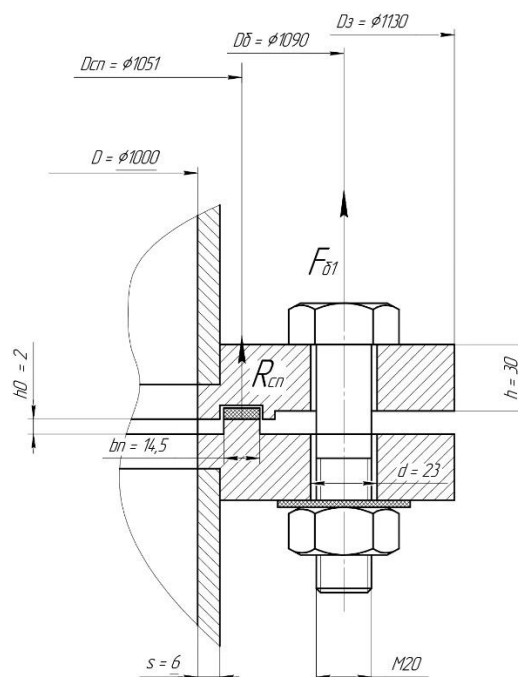


Рисунок 3.5 – Схема фланцевого з'єднання з позначеннями вхідних даних.

Таблиця 3.1 – Основні розміри фланцевого з'єднання.

Зовнішній діаметр фланця, мм	$D_з = 1130$
Діаметр болтової окружності фланця, мм	$D_δ = 1090$
Зовнішній діаметр прокладки, мм	$D_{з.п} = 1051$
Висота фланця, мм	$h = 30$
Діаметр отвору під болти, мм	$d = 23$
Діаметр різьблення болта фланця, мм	M20
Кількість болтів, шт.	36

Матеріал фланців – сталь 10X17H13M2T.

Матеріал болтів – сталь 35.

Матеріал прокладки – пароніт.

Розрахунок фланцевого з'єднання проводився за допомогою сучасного програмного забезпечення, де було розраховано фланцеве з'єднання на міцність та герметичність (див. Додаток А)

Отже, вибираємо:

Фланець 4-1000-0,3-10X17H13M2T ДСТУ 28759.2:2008.

Фланець 5-1000-0,3-10X17H13M2T ДСТУ 28759.2:2008.

### 3.6 Зміцнення отворів

Корпус апарата, днище, кришка забезпечують необхідну кількість штуцерів для підключення його до технологічних ліній, огляду та ремонту апарату тощо. Отвори не тільки зменшують несучу площу матеріалу корпусу або днища, кришки, а й викликають високу концентрацію напруг поблизу краю отвору.

Визначаємо розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не вимагає укріплень за формулою [10, (18.6)]:

$$d_d = 2 \cdot \left( \frac{s-c}{s_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_B \cdot (s-c)}, \quad (3.47)$$

де  $s_p$  – номінальна розрахункова товщина стінки обичайки без придавок на корозію та при  $\varphi = 1$ ,  $s_p = 0,603$  мм.

$$d_d = 2 \cdot \left( \frac{6-2,8}{0,603} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1000 \cdot (6-2,8)} = 509,89 \text{ мм.}$$

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		102



Таблиця 3.2 – Таблиця штуцерів апарату.

Позначення	Найменування	Кіл.	Прохідний умовний $D_y$ , мм
$A_1$	Введення сировини	1	100
$B_1$	Виведення парів з верху колони	1	200
$B_1$	Вихід кубового залишку	1	150
$\Gamma_1$	Виведення рідини з колони	1	100
$D_1$	Введення пари з кип'ятильника	1	300
$E_1$	Введення холодного зрошення	1	100
$Ж_1$	Для виміру рівня	1	50
$И_1$	Люк	1	500
$K_{1,2}$	Для камери рівнеміра	2	50
$L_{1,2,3}$	Для заміру температури	3	M20x1,5
$M_{1,2}$	Для заміру тиску	2	50
$H$	Лаз	1	500
$\Pi$	Дренаж	1	M20x1,5
$P$	Резервний	1	50

Отже, розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не вимагає укріплення 510 мм. Розрахунок на укріплення отворів не проводимо.

					$XI.P.00.00.00$ ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		103

## 4. МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТА [23, 24]

### 4.1 Монтаж розробленого апарата

*ДСТУ-Н Б А.3.1-32:2015 (Настанова щодо монтажу та зварювання посудин, що працюють під тиском, при будівництві будівель та споруд).*

*Вибір метода та способу монтажу апарата визначає трудомісткість, терміни, економічні показники та ступінь безпеки проведення цих робіт.*

*Основний метод монтажу який застосовується в даній час описаний нижче.*

*Монтаж ректифікаційної установки проводять за повною відповідністю із монтажною схемою. При розробці схеми, особливу увагу потрібно приділити на підбір запірної арматури. На гарячих продуктопроводах рекомендується ставити виключно бронзові пробкові фланцеві крани з сальниковими ущільнювачами. Поблизу робочого місця апаратчика розташовують ліхтарі для спирту та побічних продуктів, розташовують в одному місці, що добре освітлюється денним світлом.*

*Метод монтажу апаратів і механізмів в повністю зібраному вигляді. Цей метод найбільш економічно вигідний, оскільки виключає проведення робіт на висоті. Але для застосування методу необхідно мати вантажопідійомні засоби, які спроможні підняти повністю зібраний апарат. Установку обладнання на фундамент за обраним методом можна здійснити різними способами і з використанням різних вантажопідійомних механізмів.*

*Колонний апарат повинен поставлятись на монтажний майданчик у максимально готовому вигляді. Так як перевезення повністю зібраного апарату не є можливим, він поставляється максимально великими блоками або окремими деталями. Завод-виробник до відправки на монтажну ділянку повинен провести контрольне складання апарату, нанести на всі сполучення складальні осі та контрольні ризики. Трубопровідна обв'язка та металоконструкції, що піднімаються разом з апаратом, повинні бути жорстко з'єднані з ним.*

*Термін монтажу вертикальних апаратів у багатьох випадках визначає термін монтажу всієї установки. Це пов'язано не тільки з високою*

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

трудомісткістю монтажу, але і з тим, що в період підготовки до монтажу, як правило, потрібна значна вільна площа [23].

За даним методом монтажу апарат спочатку збирається з блоків (царг), а потім приварюється циліндрична опора. Стикуючі частини апарату 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 (рис. 4.1). Після прихватки стику напрямні планки зрізають газокисневим різанням. Стиковку виконують за контрольними рисками або кернами, що нанесені на блоках, а також за маркуванням на деталях, які ретельно з'єднують. В кільцевих швах зміщення кромки не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарату.

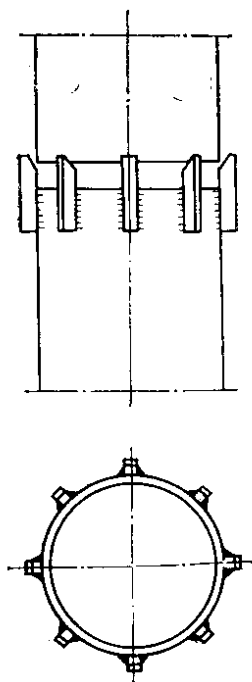


Рисунок 4.1 – Стикування обичайок.

Ретельно контролюють зазори зварюваних стиків, які повинні бути в межах 2 - 4 мм. Кромки зварних частин обережно очищають металевими щітками. Як і повне зварювання, прихватку виконують електродами, що передбачені проектом (кресленням). Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації. Територія, на якій проводиться зварювання, повинна бути захищена від вітру та атмосферних опадів для запобігання забруднень

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		105

шва. 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 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.

Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Контактні пристрої можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні апарату. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарату (рис. 4.2).

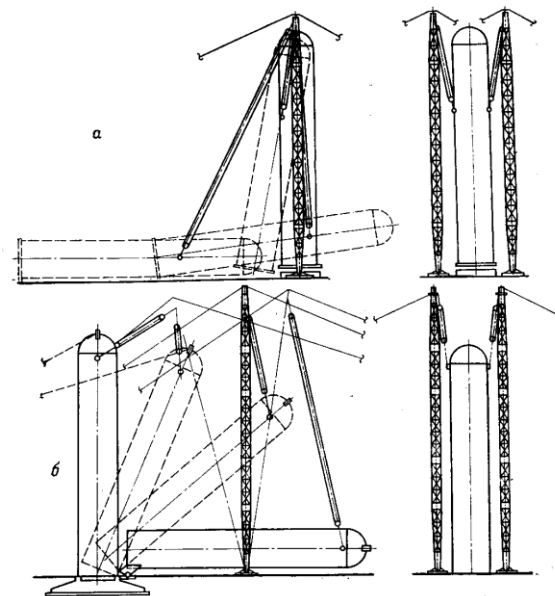


Рисунок 4.2 – Способи підймання колонного апарата:

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

При горизонтальному положенні апарату тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздальгідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°. В уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарату значно легше забезпечити суворе горизонтальне положення тарілок; У

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		106

описаному випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз'ємних деталей (кишень, зливів, дисків, глухих сегментів).

Зварювання виконують у суворій відповідності з технічними умовами, з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання.

Кожна тарілка перевіряється на бідботах після складання всіх елементів.

Для перевірки бідботажу закривають люки, що розташовані нижче контрольованої тарілки, яку заливають водою. Тарілку заливають водою так, щоб надмірна кількість води зливалася через зливні пристрої. По всьому периметру злив повинен бути однаковим, тому можливість його регулювання передбачається. Товщину шара води на всіх ділянках тарілки повинен бути також однаковою. Після заповнення гідрозатворів в зливних кишенях перевіряється тарілка, компресором нагнітають повітря. Рівномірність бідботажу контролюється візуально.

Лист тарілки повинен бути плоским, місцеві випучини та кривизна не повинні перебільшувати 2 мм. Відхилення верхніх торців зливних стаканів або зливних порогів відносно тарілки допускається не більше  $\pm 2$  мм.

При установці колони мінімальна висота фундаментна приймається рівною 0,6–0,8 м. Діаметр цоколя фундаменту приймається рівним  $D+400$  мм, де  $D$  – діаметр колони, мм.

Після зачистки, шліфовки і поліровки зварних швів, апарат випробовуються гідравлічним або пневматичним способом. Перед випробуванням прибирають з приміщення всі сторонні предмети, проводять прибирання приміщення, маркують обладнання і арматуру на трубопроводах. Величина випробувального тиску при гідравлічному способі приймається за проектною документацією.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107





*В обсяг технічного обслуговування входять:*

*1) експлуатаційний догляд – обтирання, чищення, зовнішній огляд, мастило, перевірка стану систем охолодження підшипників, спостереження за станом кріпильних деталей, перевірка справності заземлення. Усі виявлені несправності мають бути зафіксовані експлуатаційним персоналом у змінному журналі та усунуті у можливо короткий термін силами експлуатаційного та обслуговуючого персоналу.*

*2) дрібний ремонт обладнання підтяжка кріплень та контактів, часткове регулювання, заміна запобіжників, контактів, виявлення загального стану ізоляції; обслуговуючий персонал повинен регулярно переглядати записи експлуатаційного персоналу в змінному журналі та вживати заходів щодо усунення вказаних у ньому несправностей.*

*Поточний ремонт – це ремонт, який здійснюється в процесі експлуатації для гарантованого забезпечення працездатності обладнання та полягає у заміні та відновленні окремих частин обладнання та регулюванні. Такий ремонт виконується з розробкою окремих складальних одиниць. Він включає такі операції:*

- 1) промивання машин та апаратів із заміною мастила;*
- 2) регулювання складальних одиниць, схильних до найбільшого зносу і несучих великі навантаження;*
- 3) розробку вузлів з наступною заміною та ремонтом деталей, термін служби яких відповідає тривалості першого міжремонтного періоду;*
- 4) складання та перевірку відремонтованих складальних одиниць;*
- 5) ремонт футеровок та антикорозійних покриттів;*
- 6) проведення робіт, загальних для періодичних оглядів.*

*Поточні ремонти проводяться у неробочі зміни, у вихідні дні, а при безперервній роботі – у планові дні, спеціально виділені для цього виду ремонту. Кількість, обсяг, утримання та терміни поточних ремонтів обладнання визначаються тривалістю терміну служби деталей та інтенсивністю використання машин та апаратів у передремонтний період.*

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		110



*Результати поточного ремонту та технологічної перевірки, виявлені дефекти та роботи з їх усунення реєструються у ремонтній карті.*

*Капітальний ремонт – це ремонт, який здійснюється з метою відновлення несправностей і повного або близького до повного відновлення ресурсу обладнання із заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові та їх регулювання. Цей вид ремонту характеризується одночасною зміною великої кількості деталей, складальних одиниць та комплексів. При капітальному ремонті обладнання повністю відновлюється, яке експлуатаційні характеристики доводяться до відповідності технічним умовам на нове чи відремонтоване устаткування.*

*До складу КР входять:*

- повне розбирання та промивання машини або апарату;*
- ремонт або заміна зношених деталей, складальних одиниць та комплексів;*
- шабрування напрямних, регулювання та вивіряння всіх координат машин чи апарату до встановлених технічною документацією норм точності;*
- перевірка фундаментів, станин, базових деталей, антикорозійних покриттів;*
- складання машини або апарату з перевіркою якості складання;*
- перевірка машини або апарата на холостому ході та під навантаженням.*

*Крім того, в капітальний ремонт можуть бути включені роботи з модернізації машини або апарату, а також з автоматизації та механізації стосовно технологічного процесу. Після закінчення КР машина чи апарат здаються за актом комісії у складі головного механіка, інженера відділу технічного нагляду, інженера з техніки безпеки та начальника виробництва.*

*Для підтримки апарату у справному стані власник зобов'язаний своєчасно проводити (відповідно до графіка) його ремонт. При ремонті повинні виконуватись вимоги щодо техніки безпеки, викладені у галузевих правилах та інструкціях. Ремонт із застосуванням зварювання судин та їх елементів, що працюють під тиском, повинен проводитись за технологією, розробленою підприємством-виробником, конструкторською чи ремонтною*

						XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			111

організацією, до початку виконання робіт, а результати ремонту повинні заноситись до паспорту судини. Ремонт судин та їх елементів, що під тиском, не допускається. До початку виконання робіт усередині посудини, з'єднаної з іншими працюючими судинами загальним трубопроводом, посудина повинна бути відокремлена від них заглушками або від'єднана. Від'єднані трубопроводи мають бути заглушені. Застосовувані для відключення судини заглушки, що встановлюються між фланцями, повинні бути відповідної міцності і мати виступаючу частину (хвостик), за якою визначається наявність поставленої заглушки.

Під час встановлення прокладок між фланцями вони мають бути без хвостика. При роботі всередині посудини повинні застосовуватися безпечні світильники на напругу не вище 12В, а при вибухонебезпечних середовищах – у вибухобезпечному виконанні. При необхідності має бути проведений аналіз повітряного середовища на відсутність шкідливих чи інших речовин, що перевищують ГДК. Основним видом зносу проектованого апарату є забивання колони відкладеннями та корозія її елементів. Зміст операцій та його число розробки колони залежить від її діаметра. Царгові колони розбираються повністю. Вантажопідйомний механізм повинен бути встановлений вище за колону, що дозволяє зняти всі царги по черзі.

Після пропарювання колона промивається водою та провітрюється. Провітрювання необхідно для охолодження колони та доведення концентрації продуктів у ній до ГДК. Після закінчення провітрювання слід зробити аналіз повітря, взятого із різних за висотою колони місць. До робіт усередині колони дозволяється приступати лише тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і парів у ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

Основні етапи мережного ремонту колони:

- осушка апарату, пропарювання, промивання;
- зняття запобіжного клапана та запірної арматури;
- ревізія та ремонт запобіжного клапана та запірної арматури;
- встановлення запобіжного клапана та запірної арматури;
- розтин люків;

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		112

- розбирання тарілок;
- чищення тарілок, зливних склянок, куба колони;
- ревізія колони, ремонт штуцерів, люків, деталей тарілок;
- складання тарілок та перевірка на дроботаж;
- закриття люків;
- ремонт та монтаж трубопроводів та металоконструкцій;
- ремонт ізоляції, опресування;
- усунення дефектів;
- зняття заглушок;
- забарвлення.

Для механізації ремонту царгових колон, виконаних із ряду роз'ємних фланцевих з'єднань, використовуються ручні важільні ледідки, черв'якові талі та монорейки. Монорейки встановлюються по осі апаратів, що ремонтуються на необхідній висоті, яка визначається можливістю демонтажу всіх вузлів колони, транспортуванням деталей до монтажного отвору, спуском на нульову позначку або навантаженням на автомашину.

Ремонт тарілок царгових колон здійснюється після їх демонтажу. Тарілки розбираються всередині колони, виносяться на обслуговуючі майданчики та транспортуються для чищення та ремонту. Часто виявляється можливим проведення чищення тарілок усередині апарату. Зазвичай тарілки в царгах ущільнюються за допомогою азбесту або фторопластового шнурового ущільнюючого матеріалу (ФУМ). При демонтажі тарілок азбест або ФУМ витягуються за допомогою гачків та зубила. Ремонт тарілок пов'язаний в основному з їх чищенням та заміною зношених елементів. Після встановлення тарілок у корпус апарату перевіряється рівномірність газорозподілу. Перевірка здійснюється візуально. У нижню частину апарату повітрорудкою подається повітря і колона заливається модельною рідиною. При цьому всі люки, розташовані нижче тарілки, що випробовується, повинні бути закриті. Рівномірність дроботажу по всій площині тарілки свідчать про горизонтальне її положення та правильне складання.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						113
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ремонт колони закінчується її випробуванням на механічну міцність та герметичність. Випробування апарату виробляють на холостому ході та під навантаженням (гідролічним тиском). При гідролічному випробуванні колони заповнюється водою при відкритій повітряній, що встановлюється на верху колони. Поява води у повітрі свідчить про заповнення колони. Після закриття повітря тиск у колоні повільно підвищується до контрольованої величини. При цьому тиск апарат витримується 5 мин., потім тиск знижується до робочого значення, при якому здійснюється огляд зовнішньої поверхні судини, всіх його роз'ємних і зварних з'єднань.

#### 4.2.1 Ремонт розробленого апарата [23, 24]

В процесі роботи колони її елементи і вузли забруднюються, втрачають герметичність та виникає корозія. Ремонт залежить від діаметра колони і зносу її вузлів.

Підготовка колонних апаратів до ремонту полягає в наступному. Доводять тиск в колоні до атмосферного, видаляють з апарату робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, який витісняє залишки в колоні пари і газу. Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чергують кілька разів.

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.

Ремонт апарату починається з розкриття, яке слід 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 утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114

Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, так як за рахунок 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. Під час роботи у середині колони і розбирання тарілок працюють по двоє робочих у кожному люку: один всередині колони з сигнально-рятувальним поясом-мотузкою із шланговому протигазі, а другий спостерігаючий: ззовні поруч із люком із шланговим протигазом. Маска повинна бути в положенні "напоготові".

Корпус колони і її внутрішні пристрої піддають ретельному огляду.

Тарілки розбирають всередині колони, виносяться через люки на обслуговуючі майданчики і транспортуються для чищення та ремонту.

Спуск секції тарілок проводиться встановленої у верхній частині колони поворотною кран-укосиною потрібної вантажопідйомності.

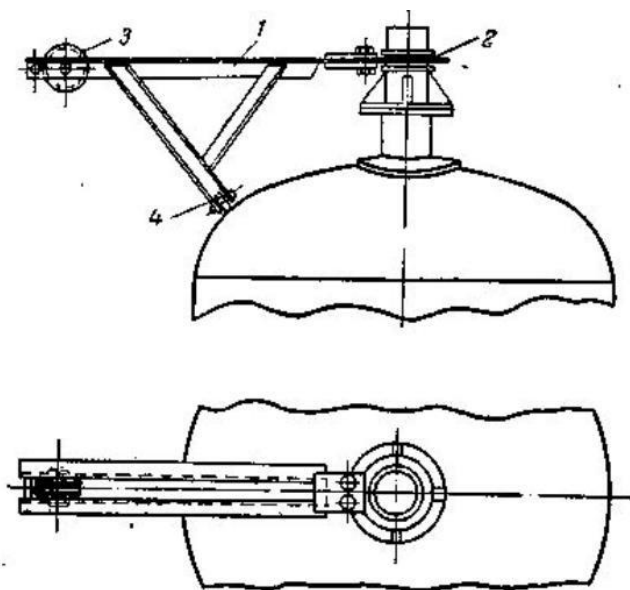


Рисунок 4.3 – Кран-укосина на корпусі апарату:

1 – кронштейн; 2 – стойка; 3 – блок; 4 – ролик.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		115

Ремонт тарілок пов'язаний в основному з їх очищенням і заміною зношених елементів. При чищенні тарілок користуються лопатками, скребками, пневматичними відбійними молотками.

Після чищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляють заново і збирають. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, так як при неспіввісності цих деталей правильна установка ковпачка виявляється неможливою. Співвісність деталей забезпечується за допомогою спеціальної оправки, яка дозволяє також змінювати висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки.

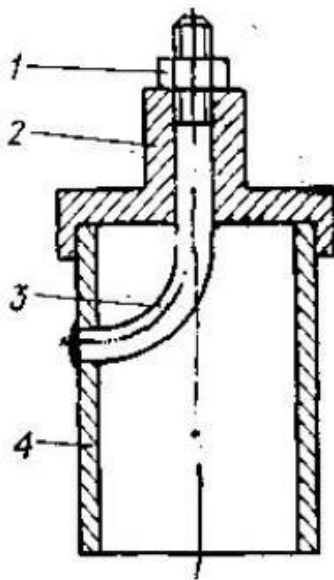


Рисунок 4.4 – Приварка шпильки до корпусу ковпачка:

1 – гайка; 2 – оправка; 3 – шпилька; 4 – корпус ковпачка.

Після ремонту тарілки перевіряють на дроботаж і монтують в корпус.

Ремонт корпусу колонних апаратів проводять в залежності від виявлених дефектів. Дефекти корпусу виявляють шляхом візуального огляду та ультразвукової дефектоскопії. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом. Зношені штупери і люки вирізають і замінюють новими з обов'язковим встановленням зміцнювальних кілець.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		116

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце ставлять нову ділянку, заздалегідь звальцьований 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, 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.

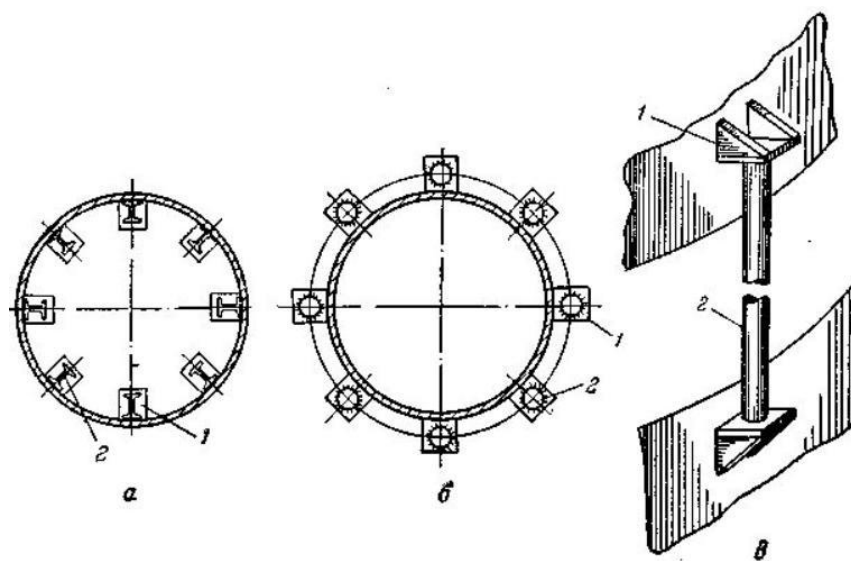


Рисунок 4.5 – Посилення колони в місцях вирізаних поясів:

*a* – внутрішніми стійками; *б* – зовнішніми стійками; *в* – схема кріплення стійки.  
1 – лапа; 2 – стійка.

Ремонт колони закінчується її випробуванням. При гідравлічному випробуванні колона заповнюється водою при відкритій повітряній, яка встановлюється на верху колони. Поява води в повітряній свідчить про заповнення колони. Після закриття повітряної тиск в колоні повільно підвищується до контрольної величини. При цьому тиску апарат витримується 5 хв, потім тиск знижується до робочого значення, при якому здійснюється обстукування зварних швів молотком і огляд корпусу колони. При проведенні пневматичного випробування обстукування зварних швів не допускається.









*Однополюсні покажчики рекомендується застосовувати при перевірці схем вторинної комутації, визначення фазного проводу при підключенні електролічильників, патронів, вимикачів, запобіжників і т. п.*

*Ізолюючі кліщі застосовують для операцій зі вставками трубчастих запобіжників, а також для надягання на ножі однополюсних роз'єднувачів і зняття ковпаків. Ізолюючі кліщі виконують із пластмаси.*

*Додатковими електрозахисними засобами є діелектричні калоші (боти), чоботи, діелектричні гумові килимки, доріжки та ізолюючі підставки.*

*Діелектричні боти, калоші і чоботи застосовують для ізоляції людини від підставки, на якій він стоїть. Боти застосовують в електроустановках будь-якої напруги, а калоші і чоботи – тільки при напрузі до 1000 В.*

*Діелектричні килимки і доріжки – це ізолюючі підставки. Їх застосовують у закритих електроустановках будь-якої напруги. В електроустановках напругою до 1000 В ізолюючі підставки виконують без фарфорових ізоляторів, а вище 1000 В – обов'язково на порцелянових ізоляторах.*

*Усі електрозахисні засоби підлягають електричних випробувань для встановлення їх діелектричних властивостей після виготовлення, ремонту і періодично (в процесі експлуатації). Перед випробуванням захисний засіб оглядають і при наявності механічних пошкоджень бракують. Випробування проводять, як правило, змінним струмом промислової частоти. Після випробувань на захисні засоби ставлять штамп, що засвідчує їх придатність до подальшої експлуатації.*

*Терміни та норми випробувань приймають відповідно до ПТЕ. Зазвичай, тривалість випробувань не перевищує 1 хвилини. Випробувальну напругу, як правило, приймають рівною триразовій лінійній напрузі електроустановки.*

*Діелектричні гумові рукавички, боти, калоші, чоботи і слюсарно-монтажний інструмент з ізолюючими рукоятками випробовують на струм витоку у ванні з водопровідною водою. Струм витоку для різних виробів не повинен перевищувати 7,5 мА при підвищеній напрузі. Якщо не стався продії і показання міліамперметра не перевищували норму, виріб вважається таким,*

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		121

що витримає випробування. Рукоятки покажчиків напруги перевіряють на електричну міцність ізоляції напругою 1000 В протягом 1 хвилини, а також визначають поріг запалювання неонові лампи, який не повинен перевищувати 90 В. Струм під час випробувань не повинен перевищувати 4 мА.

**Розглянемо основні правила застосування різних захисних засобів, які застосовують в електроустановках.**

Наведемо основні правила застосування електрозахисних засобів, які належать до усіх засобів захисту.

За необхідності роботи з тим чи іншим засобом захисту необхідно, перш за все, перевірити його придатність до експлуатації. По-перше, звертають увагу на зовнішній вигляд ізолюючого засобу. На ньому не повинно бути забруднень, пошкоджень корпусу, в тому числі лакофарбового покриття.

Кожен захисний ізолюючий засіб періодично має проходити випробування – перевірку на придатність для експлуатації в електроустановках. Тому перед тим, як застосувати захисний засіб, необхідно перевірити його термін придатності – дату наступного випробування на штампі встановленого зразка.

Якщо електрозахисний засіб має забруднення, пошкодження корпусу або у нього прострочений термін періодичного випробування, то такий захисний засіб не можна використовувати, оскільки це може спричинити ураження людини електричним струмом. Такий захисний засіб необхідно вилучити з експлуатації для усунення несправностей та проведення випробування.

Електрозахисні засоби, які планується застосовувати, забезпечують свої ізоляційні властивості тільки в тому випадку, якщо вони сухі. Цю особливість треба враховувати при необхідності проведення робіт у відкритих розподільних пристроях, не допускаючи застосування захисних засобів, на які потрапила волога (мряка, дощ, паморозь, сніг). За необхідності виконання роботи в умовах попадання вологи повинні застосовуватися електрозахисні засоби, спеціально призначені для цієї мети.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		122

*Крім того, необхідно тримати захисні ізолюючі засоби в чистому стані. Особливо це стосується діелектричних рукавичок, взуття та інших захисних засобів, які швидко приходять в непридатність, якщо на їх гумову поверхню потрапляють різні агресивні рідини та мастила.*

*Електрозахисні засоби вище 1000 В з ручками-захоплювачами мають обмежувальні кільця. При виконанні робіт необхідно брати засоби захисту за ручки не далі обмежувального кільця. Це обумовлено тим, що існує допустима безпечна відстань до струмоведучих частин і захисний засіб проектується таким чином, щоб його ізолююча частина (та частина, яка відокремлює робочу частину від рукоятки) мала достатню довжину, забезпечуючи захист від удару струмом.*

*Також слід зазначити, що кожен електрозахисний засіб розрахований на роботу при певній напрузі. Клас напруги вказується на корпусі захисного засобу, але це значення може відрізнятися від того значення напруги, від якого захисний засіб дійсно здатний захистити людину. Тому при проведенні випробування захисного засобу вказують величину напруги, до якої можна застосовувати даний засіб.*

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>123</i>

## **ВИСНОВОК**

*В ході роботи по вхідним параметрам (подача сировини 4,5 т/год вміст ацетону в сировині 24 %, в дистиляті 93% і в залишку 3%) було проведено розрахунок процесу ректифікації і ректифікаційної колони.*

*В процесі роботи получені наступні результати:*

- |                             |          |
|-----------------------------|----------|
| - число теоретичних тарілок | 15       |
| - число дійсних тарілок     | 19       |
| - висота апарату            | 14135 мм |
| - діаметр колони            | 1000 мм  |

*Діаметр штуцерів:*

- |  |        |
|--|--------|
| - штуцер для вводу зрошення              | 100 мм |
| - штуцер для виводу пари з колони        | 200 мм |
| - штуцер для вводу пари із кип'ятильника | 300 мм |
| - штуцер для виводу залишку              | 150 мм |
| - штуцер для подачі сировини             | 100 мм |

*Були вибрані наступні стандартні елементи:*

- конструкція стандартної циліндричної опори типу 2 – з кільцевим опорним поясом за ГСТУ 3-17-193-2000.

*Опора 2 – 1000 – 25 – 12,5 – 2000 ГСТУ 3-17-193-2000.*

- Фланець 4-1000-0,3-10X17H13M2T ДСТУ 28759.2:2008.
- Фланець 5-1000-0,3-10X17H13M2T ДСТУ 28759.2:2008.

*За розрахунками спроектована за вхідними даними конструкція задовільняє умові міцності (вибрана товщина стінок в апараті задовільняє умові міцності в робочих умовах і в умовах гідровипробувань), умові навантаження фланцевих з'єднань. Стійкість конструкції забезпечена.*

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		124



13. Павлов К. Ф. Приклади та завдання з курсу процесів та апаратів хімічної технології / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л: Хімія, 1987. – 576 с.

14. Довідник хіміка: У 3-х т. Т. 1. – / Под. ред. Б.П. Микільського – М: Хімія, 1966. – 1071 с.

15. Р.Т. Емірджанов, Р.А. Лемберанський Основи технологічних розрахунків у нафтопереробці та нафтохімії – М: Хімія, 1989. – 189 с.

16. Плановський А. Н. Процеси та апарати хімічної технології / А. Н. Плановський, В. М. Рамм, С. З. Казан. – М.: Держхіміздат, 1962. – 846 с.

17. Методичні рекомендації та контрольні завдання для самостійної роботи з курсу «ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ» ЧАСТИНА 2 Масообмінні процеси та обладнання – Суми: Видавництво СумДУ, 2002.– 57 с.

18. Теплові та масообмінні процеси та обладнання хімічних та нафтогазопереробних виробництв у системах «ГАЗ (ПАРА) – РІДИНА», підручник, за заг. ред. Я. Е. Михайловського – Суми: СумДУ, 2021. – 388 с.

19. Машины та апарати хімічних виробництв. Приклади та завдання. За заг. ред. Соколова Л.М. – Л: Машинобудування, 1982, – 382 с.

20. Рахмілевіч З.З., Радзін І.М., Фарамазов С.А. Довідник механіка хімічних виробництв. М; Хімія, 1985. – 592 с.

21. ДСТУ 2651:2005; ДСТУ 8541:2015.

22. Анур'єв В.І. Довідник конструктора-машинобудівника у 3 т. Т.1 – 8-е вид., Перераб і доп. Під.ід. І.Н.Жесткової. – М.: Машинобудування, 2001.

23. Фарамазов С. А. Ремонт та монтаж обладнання хімічних та нафтопереробних заводів / С. А. Фарамазов. – М.: Хімія, 1980. – 312 с.

24. Конспект лекцій по курсу: «Монтаж, експлуатація та ремонт хімічного обладнання», Яхненко С.М., Литвиненко А.В., «Видавництво СумДУ», 2013.

25. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://uz.dsp.gov.ua/shkidlyvi-rechovuny-u-povitri-robochoyi-zony>; Дата: 15.05.2023р.

26. Електрозахисні засоби для електроустановок напругою до 1000 В [Електронний ресурс] Режим доступу:

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		126



<http://electricalschool.info/main/electrobezopasnost/60-jelektrozashhitnye-sredstva-dlja.html>; Дата: 15.05.2023р.

27. Правила застосування електрозахисних засобів при проведенні робіт в електроустановках [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://electricalschool.info/main/electrobezopasnost/1718-pravila-primenenija-jelektrozashhitnykh.html>; Дата: 15.05.2023р.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата		127