

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

## Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 05050315  
"Обладнання хімічних виробництв  
і підприємств будівельних матеріалів"

Тема роботи: Установка розділення суміші бензол – толуол.  
Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

Виконав:  
студент групи ХМдн – 51п  
Черненко Руслан Андрійович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

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

Спеціальність 05050315

"Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів"

Курс 5 Група ХМдн – 51п

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

Студент Черненко Руслан Андрійович

1 Тема проекту: Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону з клапанними тарілками для розділення суміші бензол – толуол. Продуктивність за вихідною сумішшю 8000 кг/год. Вміст ЛЛК (% мол.): у початковій суміші – 28; у дистилаті – 96; у кубовому залишку – 4. Абсолютний тиск у колоні становить 0,1 МПа.

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

- |  |            |
|--|------------|
| 1. <u>Технологічна схема установки</u>                 | – 0,5 арк. |
| 2. <u>Складальний кресленик ректифікаційної колони</u> | – 1,0 арк. |
| 3. <u>Кресленики складальних одиниць та деталей</u>    | – 1,5 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – М. : Химия, 1972. – 494 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

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

6 Дата видачі завдання

жовтень 2019 р.

Керівник

\_\_\_\_\_

підпис

доц. Юхименко М.П.

## **РЕФЕРАТ**

*Пояснювальна записка: 59 с., 7 рис., 1 табл., 3 додатки, 22 джерела.*

*Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальний кресленник ректифікаційної колони, складальний кресленник клапанної тарілки – усього 3×А1 аркуші графічної частини.*

*Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Установка розділення суміші бензол – толуол. Розробити тарілчасту ректифікаційну колону».*

*У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу розділення бінарних сумішей на окремі компоненти ректифікаційним способом, виконано технологічний розрахунок процесу, визначено основні геометричні розміри апарата та його гідравлічний опір. Також обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів проектного апарату, розраховано і підібрано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність та герметичність доведена надійність роботи ректифікаційної колони. Окремим підрозділом представлено монтаж розробленого апарату, діагностика та ремонт основних його вузлів. У розділі «Охорона праці» проаналізовано сутність та будову занулення, а також сферу застосування та вимоги до нього.*

*Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, БЕНЗОЛ, ТОЛУОЛ, РЕКТИФІКАЦІЯ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР, МОНТАЖ, РЕМОНТ, ЗАНУЛЕННЯ.*

## Зміст

	<i>С.</i>
<b>Вступ</b>	<b>5</b>
<b>1 Технологічна частина</b>	<b>7</b>
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації	7
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір конструктивних матеріалів для виготовлення основних вузлів колони	12
<b>2 Технологічні розрахунки процесу і апарата</b>	<b>15</b>
2.1 Технологічні розрахунки	15
2.2 Конструктивні розрахунки	22
2.3 Гідравлічний опір апарата	27
2.4 Вибір допоміжного обладнання	31
<b>3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність</b>	<b>36</b>
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	36
3.2 Розрахунок опори апарата	40
3.3 Розрахунок апарата на вітрове навантаження	42
<b>4 Монтаж та ремонт апарата</b>	<b>44</b>
4.1 Монтаж апарата	44
4.2 Ремонт апарата	46
<b>5 Охорона праці</b>	<b>51</b>
<b>Список літератури</b>	<b>58</b>
<i>Додаток А – Рівноважна і робоча лінії на діаграмі x – y для бінарної суміші бензол – толуол</i>	
<i>Додаток Б – Крива рівноваги для бінарної суміші бензол – толуол</i>	
<i>Додаток В – Специфікації до складальних креслеників</i>	

					<b>ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ</b>		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Черненко			Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Юхименко			4	59	
Реценз.					СумДУ, ХМдн – 51п		
Н. Контр.							
Затверд.		Склабінський					

**Ректифікаційна колона  
для розділення суміші  
бензол – толуол  
Пояснювальна записка**

## **Вступ**

*Ректифікація – це тепломасообмінний процес розділення однорідної суміші летючих компонентів, здійснюваний шляхом протитокового багаторазового контакту парів, що утворюються при перегонці, з рідиною, яка утворюється при конденсації цієї ж пари. Сам процес відбувається, безпосередньо, у ректифікаційних колонах тарілчастого чи насадкового типів.*

*Колонні апарати є основним типом масообмінного обладнання хімічних, нафтохімічних, харчових, фармацевтичних та інших виробництв.*

*Бензол – перший представник гомологічного ряду ароматичних вуглеводнів, молекулярна формула  $C_6H_6$ . Безбарвна летка рідина з характерним запахом. Густина бензолу  $0,88 \text{ г/см}^3$ . За температури  $80,1^\circ\text{C}$  кипить, а при  $5,5^\circ\text{C}$  замерзає в білу кристалічну масу. Завдяки своїй симетричності є неполярною речовиною, тому не розчиняється у воді, проте утворює з нею азеотропну суміш (91,17 %) з температурою кипіння  $69,25^\circ\text{C}$ . Із більшістю неполярних розчинників змішується в будь-яких відношеннях, сам є добрим розчинником для багатьох органічних речовин [1].*

*Толуол – це гомолог бензолу із молекулярною формулою  $C_6H_5-CH_3$ . Це безбарвна рідина з температурою кипіння  $110,6^\circ\text{C}$ . Толуол легше вступає в реакції заміщення по бензеновому ядру, ніж незаміщений бензол. Він у великій кількості присутній у кам'яновугільній смолі та продуктах нафтопереробки. Виділяють із продуктів каталітичного риформінгу бензинів послідовною селективною екстракцією та ректифікацією. Його отримують із продуктів сухої перегонки кам'яного вугілля і в процесі дегідроциклізації гептану [2].*

*У даному кваліфікаційному проекті процес розділення бінарної суміші бензол – толуол на окремі компоненти відбувається в тарілчастій ректифікаційній колоні. Усередині колони, у якості контактних пристроїв, встановлені клапанні тарілки.*

*Сучасні ректифікаційні колони повинні володіти високою розділюючою здатністю і продуктивністю, характеризуватися достатньою надійністю і*

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

гнучкістю в роботі, забезпечувати низькі експлуатаційні витрати, мати невелику масу та бути конструктивно простими і технологічними у виготовленні. Останні вимоги не менш важливі, ніж перші, оскільки вони не тільки визначають капітальні витрати, а й, значною мірою, впливають на експлуатаційні витрати, забезпечують легкість і зручність виготовлення апаратів, їх монтаж і демонтаж, ремонт, контроль, випробовування, а також безпечну експлуатацію [3].

Кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [4]. Зміст і порядок розділів у даній пояснювальній записці також формувався відповідно цим вимогам.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Технологічна схема ректифікаційної установки для розділення бінарної суміші бензол – толуол представлена на рис. 1.1.

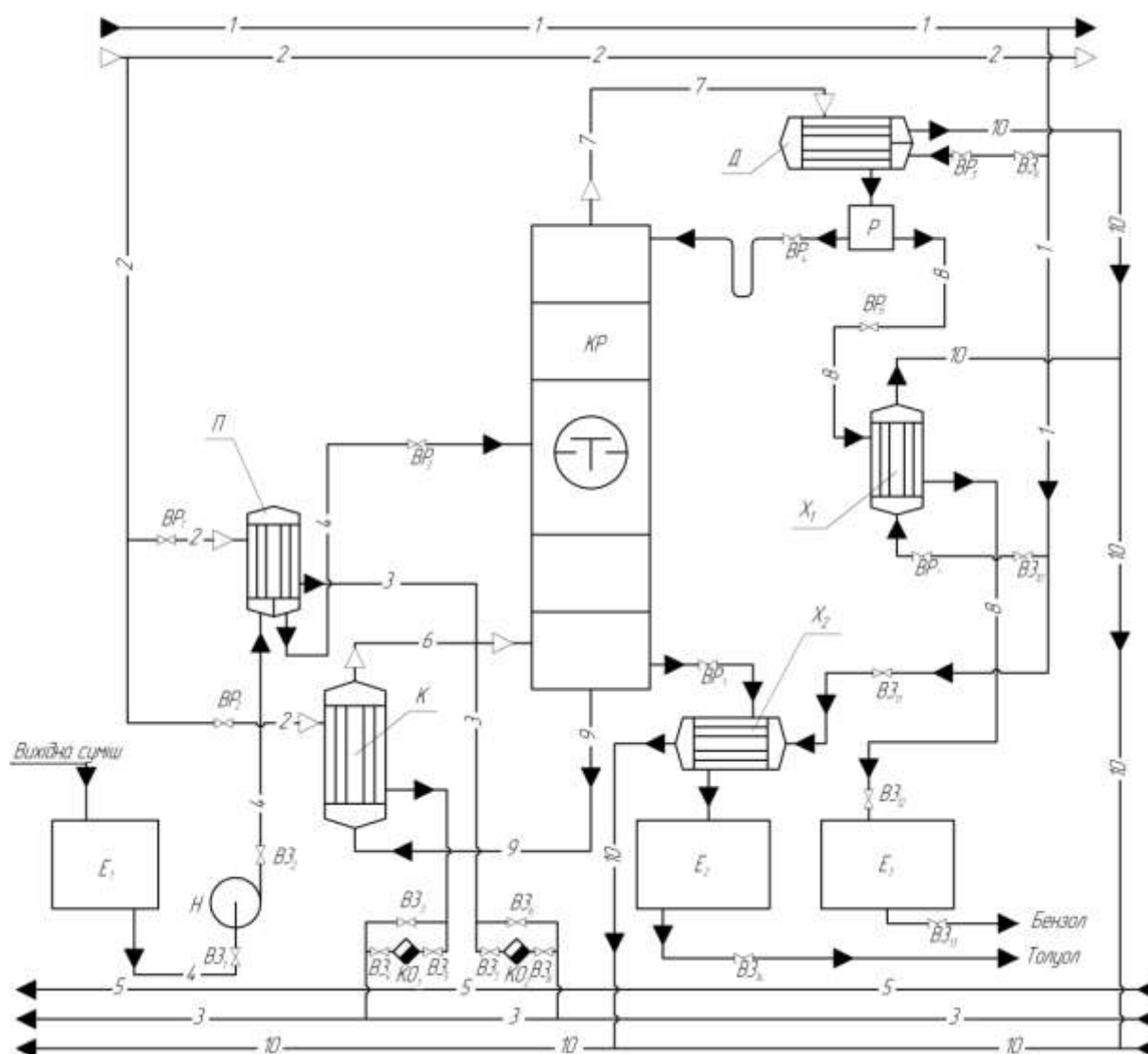


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки:

$E_1, E_2, E_3$  – ємність;  $H$  – насос;  $\Pi$  – підігрівач;  $K$  – кип’ятильник;  $КР$  – колона ректифікаційна;  $X_1, X_2$  – холодильник;  $Д$  – дефлегматор;  $P$  – розподільник

Бінарна суміш бензол – толуол із проміжної ємності  $E_1$  за допомогою відцентрового насосу  $H$  подається в теплообмінник-підігрівач  $\Pi$ . Тут вона

									Лист
									7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ				

нагрівається до температури кипіння. Підігріта суміш надходить на поділ у ректифікаційну колону КР (на тарілку живлення), де змішується з флегмою із зміцнюючої частини колони. Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з парою, що підіймається угору, яка утворюється при вскипанні кубової рідини у кожухотрубному кип'ятильнику К.

У результаті протікання вищеприписаного процесу з рідини видаляється легколеткий компонент (далі ЛЛК). Пар, збагачений ЛЛК, піднімається вгору по колоні і надходить в дефлегматор Д. Із дефлегматора сконденсована пара надходить на розподільний стакан Р, де конденсат розділяється на два потоки: перший (флегма) повертається на зрошення колони, а другий (дистилят) надходить в холодильник дистиляту  $X_1$  і далі в проміжну ємність  $E_3$ .

У свою чергу, з кубової частини колони безперервно відводиться кубовий залишок – продукт, збагачений труднолетким компонентом (ТЛК), який охолоджується в холодильнику  $X_2$  і направляється в ємність  $E_2$ . Підігрівач вихідної суміші і кип'ятильник обігріваються насиченою водяною парою.

## 1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації

Теоретичні основи процесу ректифікації, які наведено у цьому підрозділі, виконано на підставі аналізу літературних джерел [3, 5–7].

Процес ректифікації здійснюється на ректифікаційній установці, основним апаратом якої звичайно ж є ректифікаційна колона, в якій пари переганяючої рідини піднімаються знизу, а назустріч парам стікає рідина, що подається у вигляді флегми у верхню частину апарата.

Процес ректифікації може відбуватись при атмосферному тиску, а також при тисках вище і нижче атмосферного.

Ступінь поділу суміші рідин на складові компоненти і чистота одержуваних дистиляту і кубового залишку залежать від того, наскільки

										Лист
										8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ					



розвинена поверхня контакту фаз, від кількості що подається на зрошення флегми і внутрішніх пристроїв ректифікаційної колони.

Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення температури процесу і кількості відведеної теплоти, вибір швидкості пари, насадки (для насадкових колон) і типу тарілок (для тарілчастих колон), розмірів і гідравлічного опору апарату.

При проектуванні ректифікаційних установок, із яких газ відводиться в атмосферу, необхідно враховувати питання охорони навколишнього середовища – концентрація того чи іншого компонента в паровій фазі на виході з колони не повинна перевищувати гранично-допустимого значення. Якщо це не досягається в одному апараті, то необхідно встановлювати додаткове обладнання [6].

У промисловості застосовують тарілчасті, насадкові, плівково-трубчасті і відцентрові плівкові апарати. Вони розрізняються в основному за конструкцією внутрішнього устрою апарата, призначення якого – забезпечити активну взаємодію рідини і пари.

При розрахунках ректифікаційних колон кількість і склад фаз зручно виражати в молярних величинах. Отже, можна вважати, що при конденсації з пари  $n$  моль труднолеткого компонента з рідини випаровується  $n$  моль легколеткого компонента, тобто кількість фаз по всій висоті колони буде постійною.

Також приймемо допущення, які мало спотворюють фактичні умови протікання процесу, але значно спрощують розрахунки:

1) склад пари, яка виходить з колони до дефлегматора ( $y_D$ ), і склад флегми, яка повертається в колону ( $x_D$ ), однакові, тобто  $y_D = x_D$ ;

2) склад пари, яка піднімається з кип'ятильника в колону ( $y_W$ ), дорівнює складу рідини в кубі-випарнику ( $x_W$ ), тобто  $y_W = x_W$ .

Складемо матеріальний баланс ректифікаційної колони:

– за потоками

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_F = G_D + G_W; \quad (1.1)$$

– за легколетким компонентом

$$G_F x_F = G_D x_D + G_W x_W, \quad (1.2)$$

де  $G_F$ ,  $G_D$ ,  $G_W$  – масові або молярні витрати живлення, дистиляту і кубового залишку;

$x_F$ ,  $x_D$ ,  $x_W$  – склад легколеткого компонента в живленні, дистиляті та кубовому залишку відповідно.

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

прихід тепла:

- з гріючою парою в кубі випарника  $Q_K$ ;
- з вихідною сумішшю

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

витрата тепла:

- з водою від сконденсованих у дефлегматорі парів  $Q_\delta$ ;
- з дистилятом

$$Q_D = G_D \cdot I_D; \quad (1.4)$$

- з кубовим залишком

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

- втрати в навколишнє середовище  $Q_{втр}$ ,

де  $I_D$ ,  $I_F$ ,  $I_W$  – відповідно ентальпії дистиляту, вихідної суміші та кубового залишку.

Рівняння теплового балансу запишеться у вигляді:

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

Підставляючи замість  $Q$  відповідні значення, вирішимо рівняння теплового балансу відносно  $Q_K$ :

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

Визначення висоти тарілчастої колони проводиться за рівнянням:

$$H = H_T + h_1 + h_2, \quad (1.8)$$

де  $H_T = (n - 1) \cdot h$  – висота тарільчастої частини колони, м;

$h_1$  – висота сепараційної частини колони, м;

$h_2$  – відстань від нижньої тарілки до днища, м;

$n$  – кількість тарілок;

$h$  – відстань між сусідніми тарілками, м.

Для наближених розрахунків застосовують теоретично менш обґрунтований, але більш простий метод визначення числа тарілок за допомогою, так званого, середнього к. к. д. тарілок:

$$n = n_T / \eta \quad (1.9)$$

де  $n_T$  – число теоретичних тарілок; за літературними даними, знаходиться в межах  $n_T = 0,3-0,8$  [7].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### ***1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір конструктивних матеріалів для виготовлення основних вузлів колони***

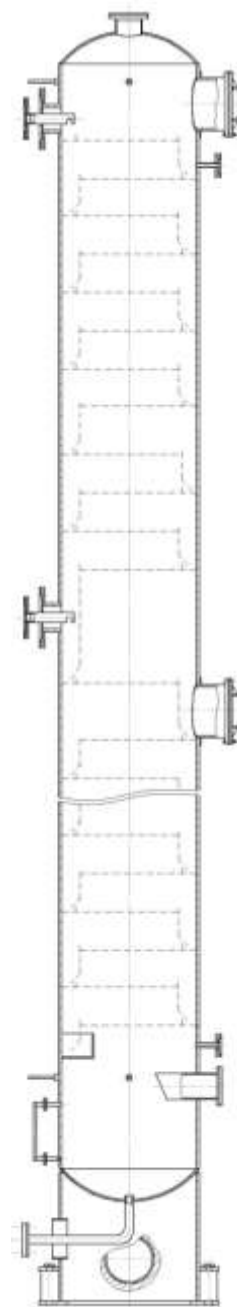
*Схема тарілчастої ректифікаційної колони представлена на рис. 1.2.*

*Ректифікаційна колона являє собою вертикальний циліндр (суцільнозварний або із декількох царг, з'єднаних між собою наглухо або роз'ємними фланцями), по висоті якого розташовані спеціальні контактні пристрої – тарілки, що дозволяють створити тісний контакт між парою, що піднімається вгору по колоні, і рідиною, що стікає вниз.*

*У середню частину колони, у вигляді парорідинної суміші, подається сировина, яку необхідно розділити на дві частини – висококиплячу і низькокиплячу.*

*Пара і рідина, що надходять на тарілку, не перебувають в стані рівноваги, однак, вступаючи в контакт, прагнуть до цього стану.*

*Клапанна тарілка відноситься до тарілок зі спеціальними перетічними пристроями. За схемою руху рідини і пари клапанна тарілка відноситься до перехресноточних тарілок. У цих тарілках рідина подається в спеціальні приймальні кармани, проходить по полотна тарілки без провалу і через зливні пристрої надходить в приймальний карман нижчерозташованої тарілки.*



*Рисунок 1.2 – Схема проектованого апарату*

*Клапанна тарілка являє собою полотно з отворами, при цьому кожен отвір прикрито зверху рухомою пластиною під дією власної маси і тиску шару рідини. Дана тарілка зі змінним прохідним перетином для пари, яка змінюється зі зміною навантаження колони за парою.*

*Коли подачі пари немає пластина повністю перекриває перетин отвору. При подачі пари клапан починає підніматися. Причому тим вище, чим більше витрата пари. Висоту підйому клапана обмежують кронштейни. Є кронштейни, які розташовані знизу і зверху. Клапани, у свою чергу, розрізняються за формою: круглі і прямокутні.*

*Основна перевага клапанної тарілки – це приблизно постійна швидкість, із якою пара входить в шар рідини (це відбувається за рахунок того, що при збільшенні витрати пари клапан піднімається і збільшується перетин входу пари на тарілку).*

*Конструктивні особливості клапанних тарілок дозволяють зберігати високу інтенсивність масопередачі в допустимому інтервалі зміни навантажень колони при приблизно стабільному опорі. Площа вільного перетину клапанних тарілок становить 15 % від загальної площі перетину колони.*

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

*Частина ректифікаційної колони, яка розташована вище штуцера введення сировини, називається концентраційною, а нижче – відгінною [6].*

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

*Проектована ректифікаційна колона конструктивно складається з кришки і днища, патрубків для введення і виведення парових і рідинних потоків. Як правило, знизу до корпусу апарата приварюють спеціальну опору, яка дозволяє надійно кріпити колону до фундаменту.*

*Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [8–10]. Тому до конструкційних матеріалів проекрованої апаратури висувають наступні вимоги [8]:*

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

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

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

*4) низька вартість і доступність матеріалів.*

*Здійснимо підбір конструкційного матеріалу для корпусу апарата. Підбір будемо здійснювати, беручи до уваги робочу температуру, агресивність середовища та значення робочого тиску.*

*Для деталей колони, які контактують із рідиною вибираємо матеріал – сталь 16ГС, для інших – сталь Ст 3. Матеріал опори – ВСтЗсп. Для виготовлення неметалевих прокладок для ущільнення роз'ємів з'єднань апарата використовуємо пароніт – листовий прокладковий матеріал, що виготовляється пресуванням азбокаучукової маси, яка складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів [9].*

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

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

Перерахуємо молярні частки легколеткого компонента в масові:

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

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

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

$$M_f = M_{\text{ллк}} \cdot x_f + M_{\text{тлк}} \cdot (1 - x_f), \text{ кг/кмоль}, \quad (2.4)$$

де  $M_f = 78,1 \cdot 0,28 + 92,1 \cdot (1 - 0,28) = 88,18 \text{ кг/кмоль}$

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

$$M_D = 78,1 \cdot 0,96 + 92,1 \cdot (1 - 0,96) = 78,67 \text{ кг/кмоль}$$

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

$$M_W = 78,1 \cdot 0,04 + 92,1 \cdot (1 - 0,04) = 91,54 \text{ кг/кмоль}$$

$M_{\text{ллк}} = 78,1 \text{ кг/кмоль}$ ,  $M_{\text{тлк}} = 92,1 \text{ кг/кмоль}$  – молярні маси легколеткого і важколеткого компонентів [11].

$$\bar{x}_f = 0,28 \cdot \frac{78,11}{88,18} = 0,248 \text{ мас. частки};$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		15

$$\overline{x_D} = 0,96 \cdot \frac{78,11}{78,67} = 0,953 \text{ мас. частки};$$

$$\overline{x_W} = 0,04 \cdot \frac{78,11}{91,54} = 0,034 \text{ мас. частки}.$$

Матеріальний баланс ректифікаційної колони складається з потоків [3]:

$$G_f = G_D + G_W; \quad (2.5)$$

за легколетким компонентом:

$$G_f \cdot \overline{x_f} = G_D \cdot \overline{x_D} + G_W \cdot \overline{x_W}; \quad (2.6)$$

Спільне розв'язання рівнянь (2.4) і (2.5) дозволяє отримати залежність для визначення масових витрат дистилляту і кубового залишку:

$$G_D = G_f \cdot \frac{\overline{x_f} - \overline{x_W}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \quad (2.7)$$

$$G_W = G_f \cdot \frac{\overline{x_D} - \overline{x_f}}{\overline{x_D} - \overline{x_W}}; \quad (2.8)$$

$$G_D = 8000 \cdot \frac{0,248 - 0,034}{0,953 - 0,034} = 1863 \text{ кг/год.};$$

$$G_W = 8000 \cdot \frac{0,953 - 0,248}{0,953 - 0,034} = 6137 \text{ кг/год.}$$

Криву рівноваги (див. Додаток Б) будуємо в координатах  $y - x$ .

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						16
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Визначаємо мінімальне флегмовое число за рівнянням [3]:

$$R_{\min} = \frac{x_D - y_f^*}{y_f^* - x_f}; \quad (2.9)$$

де  $y_f^*$  – склад пари, яка перебуває у рівновазі з вихідної сумішшю; визначається з кривою рівноваги (див. Додаток Б).

$$R_{\min} = \frac{0,96 - 0,5}{0,5 - 0,28} = 2,1.$$

Визначаємо оптимальне флегмовое число при  $\beta = 1,6$  [6]:

$$R_{\min} = \beta \cdot R_{\min}; \quad (2.10)$$

$$R_{\min} = 1,6 \cdot 2,1 = 3,36.$$

Далі розрахуємо масові витрати стікаючої по колоні флегми і піднімаючихся парів [3]:

$$G_R = R \cdot G_D; \quad (2.11)$$

$$G_V = (R + 1) \cdot G_D; \quad (2.12)$$

$$G_R = 3,36 \cdot 1863 = 6260 \text{ кг/год.};$$

$$G_V = (3,36 + 1) \cdot 1863 = 8123 \text{ кг/год.}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						17
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Робочі лінії процесу визначаються рівняннями [3]:

– для верхньої частини колони:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.13)$$

– для нижньої частини колони:

$$y = \frac{F+R}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W, \quad (2.14)$$

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

$$F = \frac{G_f}{G_d} \cdot \frac{M_d}{M_f}; \quad (2.15)$$

$$F = \frac{8000}{1863} \cdot \frac{78,67}{88,18} = 3,8.$$

Далі визначаємо координати точки, у якій перетинаються робочі лінії (див. додаток А):

$$y_f' = \frac{3,36}{3,36+1} \cdot 0,28 + \frac{0,96}{3,36+1} = 0,44;$$

$$y_f'' = \frac{3,8+3,36}{3,36+1} \cdot 0,28 - \frac{3,8-1}{3,36+1} \cdot 0,04 = 0,44.$$

Отримані рівні значення свідчать про правильність виконаних розрахунків.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Середні молярні концентрації рідини визначаються за середньоарифметичними залежностями [3]:

– у верхній частині колони:

$$x'_{cep} = \frac{(x_f + x_D)}{2}; \quad (2.16)$$

– у нижній частині колони:

$$x''_{cep} = \frac{(x_f + x_W)}{2}; \quad (2.17)$$

$$x'_{cep} = \frac{(0,28 + 0,96)}{2} = 0,62;$$

$$x''_{cep} = \frac{(0,28 + 0,04)}{2} = 0,16.$$

Середні молярні концентрації парової фази визначаються за рівняннями робочих ліній [3]:

– у верхній частині колони:

$$y'_{cep} = \frac{R}{R+1} \cdot x'_{cep} + \frac{x_D}{R+1}; \quad (2.18)$$

– у нижній частині колони:

$$y''_{cep} = \frac{F+R}{R+1} \cdot x''_{cep} - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W; \quad (2.19)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						19
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y'_{сер} = \frac{3,36}{3,36+1} \cdot 0,62 + \frac{0,96}{3,36+1} = 0,70;$$

$$y''_{сер} = \frac{3,8+3,36}{3,36+1} \cdot 0,16 - \frac{3,8-1}{3,36+1} \cdot 0,04 = 0,24.$$

Середня молярна маса парів розраховується за формулами [3]:

– у верхній частині колони:

$$M'_{сер} = y'_{сер} \cdot M_{лк} + (1 - y'_{сер}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.20)$$

– у нижній частині колони:

$$M''_{сер} = y''_{сер} \cdot M_{лк} + (1 - y''_{сер}) \cdot M_{тлк}; \quad (2.21)$$

$$M'_{сер} = 0,70 \cdot 78,1 + (1 - 0,70) \cdot 92,1 = 82,3 \text{ кг/кмоль};$$

$$M''_{сер} = 0,24 \cdot 78,1 + (1 - 0,24) \cdot 92,1 = 88,7 \text{ кг/кмоль}.$$

Середні густини парів визначаються за рівнянням Клайперона:

– у верхній частині колони [3]:

$$\rho'_y = \frac{M'_{сер} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t'_y)}; \quad (2.22)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho''_y = \frac{M''_{сер} \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + t''_y)}, \quad (2.23)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $t_y^I$  – середня температура пари у верхній частині колони в залежності від концентрації  $y_{сер}^I$ ;

$t_y^{II}$  – середня температура пара в нижній частині колони в залежності від концентрації  $y_{сер}^{II}$ .

$$\rho_y^I = \frac{82,3 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 90)} = 2,76 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_y^{II} = \frac{88,7 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 105)} = 2,86 \text{ кг/м}^3.$$

Середні густини рідини знаходяться за правилом адитивності:

– у верхній частині колони:

$$\rho_x^I = x_{сер}^I \cdot \rho_{ллк}^I + (1 - x_{сер}^I) \cdot \rho_{тлк}^I; \quad (2.24)$$

– у нижній частині колони:

$$\rho_x^{II} = x_{сер}^{II} \cdot \rho_{ллк}^{II} + (1 - x_{сер}^{II}) \cdot \rho_{тлк}^{II}; \quad (2.25)$$

де  $\rho_{ллк}^I$ ,  $\rho_{ллк}^{II}$ ,  $\rho_{тлк}^I$ ,  $\rho_{тлк}^{II}$  – густини рідини легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах  $t_x^I$ ,  $t_x^{II}$ .

$$\rho_x^I = 0,62 \cdot 805 + (1 - 0,62) \cdot 800 = 803 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_x^{II} = 0,16 \cdot 790 + (1 - 0,16) \cdot 785 = 786 \text{ кг/м}^3.$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Середні в'язкості рідини обчислюються за формулами:

– у верхній частині колони:

$$\lg \mu'_x = x'_{сер} \cdot \lg \mu'_{ллк} + (1 - x'_{сер}) \cdot \lg \mu'_{тлк}; \quad (2.26)$$

– у нижній частині колони:

$$\lg \mu''_x = x''_{сер} \cdot \lg \mu''_{ллк} + (1 - x''_{сер}) \cdot \lg \mu''_{тлк}, \quad (2.27)$$

де  $\mu'_{ллк}$ ,  $\mu''_{ллк}$ ,  $\mu'_{тлк}$ ,  $\mu''_{тлк}$  – в'язкості рідких легколеткого і труднолеткого компонентів при температурах  $t'_x$  і  $t''_x$ .

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Граничну і робочу швидкості парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулами [12]:

$$\omega' = 0,8 \cdot \omega_{пр}, \quad (2.28)$$

де  $\omega_{пр}$  – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

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

де  $c$  – коефіцієнт, який обирається в залежності від конструкції тарілок і відстані між ними.

При відстані між тарілками  $H=0,4$  м –  $c=0,05$  [3].

Гранична швидкість парів:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

– для верхньої частини колони

$$\omega'_{np} = 0,05 \cdot \sqrt{\frac{800 - 2,7}{2,7}} = 0,86 \text{ м/с};$$

– для нижньої частини колони

$$\omega''_{np} = 0,05 \cdot \sqrt{\frac{785 - 2,78}{2,78}} = 0,84 \text{ м/с}.$$

*Робоча швидкість парів:*

– для верхньої частини колони

$$\omega' = 0,8 \cdot 0,86 = 0,69 \text{ м/с};$$

– для нижньої частини колони

$$\omega'' = 0,8 \cdot 0,84 = 0,67 \text{ м/с}.$$

*Відношення масових витрат рідкої і парової фаз дорівнює [3]:*

– у верхній частині колони:

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

– у нижній частині колони:

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		23

$$\left(\frac{L}{G}\right)' = \frac{3,36}{3,36+1} = 0,77;$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)'' = \frac{3,36+3,8}{3,36+1} = 1,64.$$

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

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

– у нижній частині колони

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

$$V' = \frac{8123}{3600 \cdot 2,7} = 0,84 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$V'' = \frac{8123}{3600 \cdot 2,78} = 0,81 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Діаметр колони розраховується за формулою [3]:

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

– для верхньої частини колони:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						24
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



$$D' = \sqrt{\frac{0,84}{0,785 \cdot 0,69}} = 1,25 \text{ м};$$

– для нижньої частини колони:

$$D'' = \sqrt{\frac{0,81}{0,785 \cdot 0,67}} = 1,24 \text{ м}.$$

Найближчий більший діаметр колони зі стандартного ряду 1,3 м, але це значення взято у дужки, оскільки не є бажаним для прийняття. У такому випадку приймаємо наступне більше значення зі стандарту, а саме 1,4 м.

Дійсні робочі швидкості пари у колоні:

$$w_g = 0,69 \cdot \left(\frac{1,25}{1,4}\right)^2 = 0,55 \text{ м/с};$$

$$w_n = 0,67 \cdot \left(\frac{1,24}{1,4}\right)^2 = 0,53 \text{ м/с}.$$

У результаті побудови, так званих сходинок, між робочою і рівноважною лініями – число теоретичних тарілок становить:

– в концентраційній частині колони  $N'_m = 9$  шт.;

– у відгінній частині колони  $N''_m = 7$  шт.

Число практичних тарілок визначається за рівнянням:

$$N_{np} = N_m / \eta, \quad (2.35)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) тарілки.

За даними [6] к.к.д. клапанних тарілок знаходиться у межах 0,48–0,5.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для подальших розрахунків задаємося усередненим значенням к.к.д.  
 $\eta = 0,49$ .

У такому разі, число практичних тарілок становить:

– у верхній частині колони

$$N_{np} = 9/0,49 \approx 19 \text{ шт.};$$

– у нижній частині колони

$$N_{np} = 7/0,49 \approx 15 \text{ шт.}$$

Висота тарілчастої частини ректифікаційної колони складе:

$$H_m = (15 + 19 - 1) \cdot 0,4 = 13,2 \text{ м.}$$

Діаметр патрубків визначається за формулою [12]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot \omega}}; \quad (2.36)$$

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

Швидкість пари приймається в межах 10–15 м/с, швидкість рідини 0,5–2 м/с [12].

Діаметри патрубків для входу і виходу парів:

$$d_v = \sqrt{\frac{8123}{3600 \cdot 2,85 \cdot 0,785 \cdot 12}} = 0,290 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметри патрубків  $d_v = 300$  мм.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Діаметр патрубків для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{6260}{3600 \cdot 800 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,074 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубків  $d_R=80$  мм.

Діаметр патрубків для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{8000}{3600 \cdot 785 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,085 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубків  $d_f=100$  мм.

Діаметр патрубків для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{6137}{3600 \cdot 880 \cdot 0,785 \cdot 0,5}} = 0,071 \text{ м.}$$

Приймаємо діаметр патрубків  $d_w=80$  мм.

### 2.3 Гідравлічний опір апарата

Відгонна частина колони є більш навантаженою по рідині. Таким чином, гідравлічний розрахунок виконуємо для клапанної тарілки, яка розташована у нижній частині колони. Основні характеристики клапанної тарілки, у залежності від діаметра колони і кроку між клапанами, наведено у табл. 2.1 [13].

Гідравлічний опір клапанної тарілки:

$$h > 0,98 \cdot \frac{\Delta P}{g \cdot \rho_p}. \quad (2.37)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 2.1 – Характеристика клапанних тарілок

Діаметр колони, мм	Вільний перетин колони, м <sup>2</sup>	Шаг між рядами клапанів, мм		Робочий перетин тарілки, м <sup>2</sup>	Периметр зливу, м	Перетин переливу, м <sup>2</sup>
		50				
		Відносний вільний перетин тарілки, %	Кількість клапанів			
1400	1,54	11,42	140	1,10	1,12	0,22

У рівнянні (2.37):  $\Delta P_c$  – перепад тиску на сухій тарілці, Па;  $\Delta P_\sigma$  – перепад тиску, необхідний для подолання сил поверхневого натягу рідини, Па;  $\Delta P_p$  – перепад тиску, необхідний для подолання опору стовпа рідини на тарілці, Па.

Перепад тиску на сухій тарілці:

$$\Delta P_c = \xi \cdot \frac{w_0^2}{2} \cdot \rho_n, \quad (2.38)$$

де  $\xi$  – коефіцієнт місцевого опору, який для клапанних тарілок дорівнює 2,5...3,5. Приймаємо  $\xi = 3,0$ ;

$\rho_n$  – густина парів в робочих умовах колони, кг/м<sup>3</sup>;

$w_0$  – швидкість пара в отворах під клапанами, м/с.

$$w_0 = \frac{V_{сек}}{f_o \cdot N_o}, \quad (2.39)$$

де  $V_{сек}$  – секундна витрата парів, м<sup>3</sup>/с;

$N_o = 140$  – число отворів на тарілці;

$f_o$  – перетин одного отвору під клапаном, м<sup>2</sup>.

$$f_o = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}, \quad (2.40)$$

де  $d_o = 0,038$  м – діаметр отвору під клапаном [13].

$$f_o = \frac{3,14 \cdot 0,038^2}{4} = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

$$w_0 = \frac{0,72}{1,13 \cdot 10^{-3} \cdot 140} = 4,55 \text{ м/с};$$

$$\Delta P_c = 3,0 \cdot \frac{4,55^2}{2} \cdot 2,78 = 86 \text{ Па}.$$

Перепад тиску, необхідний для визначення сил поверхневого натягу рідини:

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \cdot \sigma}{d_E}, \quad (2.41)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини, Н/м;

$d_E$  – еквівалентний діаметр щілини під клапаном.

Для клапанних тарілок  $d_E = 0,012$  м [13].

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \cdot 18,5 \cdot 10^{-3}}{0,012} = 6,2 \text{ Па}.$$

Перепад тиску, необхідний для подолання опору стовпа рідини:

$$\Delta P_p = 9,81 \cdot K \cdot h_{зл} + 28 \cdot \sqrt[3]{K \cdot \left(\frac{Q}{L_D}\right)^2}, \quad (2.42)$$

де  $K = 0,5$  – безрозмірний коефіцієнт для клапанних тарілок;

$h_{зл} = 0,04$  м – висота зливної перегородки [13];

$L_D = 0,65$  м – довжина лінії зливання;

$Q$  – об'єм рідини, що стікає з нижньої зміцнюючої тарілки колони, м<sup>3</sup>/год.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = \frac{G_R \cdot M_d}{\rho_d}; \quad (2.43)$$

$$Q = \frac{6260 \cdot 78,67}{800} = 616 \text{ м}^3/\text{год.};$$

$$\Delta P_p = 9,81 \cdot 0,5 \cdot 0,04 + 28 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot \left(\frac{616}{0,65}\right)^2} = 2144.$$

Таким чином, підставляючи розраховані значення, визначаємо сумарний гідравлічний опір клапанної тарілки:

$$\Delta P = 86 + 6,2 + 2144 = 2236,2 \text{ Па.}$$

Далі, за рівнянням (2.37), визначаємо мінімальну відстань між тарілками, при якій забезпечується нормальна робота тарілок:

$$h > 0,98 \cdot \frac{2236,2}{9,81 \cdot 800} = 0,28 ;$$

$$h_T = 0,4 \text{ м} > 0,28 \text{ м} - \text{умову виконано.}$$

Отже, відстань між тарілками вибрано правильно.

Повний гідравлічний опір ректифікаційної колони:

$$\Delta P_a = N \cdot \Delta P; \quad (2.44)$$

$$\Delta P = 34 \cdot 2236,2 = 76031 \text{ Па.}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		30

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і вибір насосу для подачі бінарної суміші у колону [12]. Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість руху рідини, яка дорівнює  $w=2$  м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.45)$$

де  $V$  – об'ємна витрата зрошення, що подається в колону:

$$V = \frac{8000}{3600 \cdot 800} = 2,78 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d = \sqrt{\frac{2,78 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2}} = 0,042 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу  $48 \times 2,5$  мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.46)$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,043 \cdot 800}{3,1 \cdot 10^{-4}} = 221935,$$

тобто режим руху турбулентний.

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						31
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,043} = 4,65 \cdot 10^{-3};$$

$$\frac{1}{e} = 215; 560 \cdot \frac{1}{e} = 120400; 10 \cdot \frac{1}{e} = 2150; \text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автомоделною по відношенню до  $Re$ :

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}; \quad (2.47)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (4,65 \cdot 10^{-3})^{0,25} = 0,029.$$

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

Для всмоктуючої лінії:

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

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

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

Для напірної лінії:

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

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



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

*Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:*

$$h_{П.ВС.} = \left( \lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.48)$$

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

$$h_{П.ВС.} = \left( 0,029 \cdot \frac{3}{0,043} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,96 \text{ м.}$$

*Втрата напору в напірній лінії:*

$$h_{П.НАП.} = \left( 0,029 \cdot \frac{6}{0,043} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 2,46 \text{ м.}$$

*Загальні втрати напору:*

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.49)$$

$$h_{П} = 0,96 + 2,46 = 3,42 \text{ м.}$$

*Знаходимо напір насосу за рівнянням:*

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{\Gamma} + h_{П}, \quad (2.50)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$H_r$  – геометрична висота, на яку транспортується суміш.

$$H = 5 + 3,42 = 8,42 \text{ м.}$$

Корисну потужність насоса визначаємо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H; \quad (2.51)$$

$$N_{II} = 800 \cdot 9,81 \cdot 2,78 \cdot 10^{-3} \cdot 8,42 = 184 \text{ Вт.}$$

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

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n}, \quad (2.52)$$

де  $\eta_n = 0,6$  – коефіцієнти корисної дії насосу;

$\eta_{пер} = 1$  – коефіцієнти корисної дії передачі від електродвигуна до насоса.

$$N = \frac{184}{1 \cdot 0,6} = 307 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-25-15,3/25-5 із такими параметрами: об'ємна подача насоса 15,3 м<sup>3</sup>/год.; напір насоса 25 м; потужність, яку потребує насосом 7,5 кВт; частота обертів 1450 об/хв.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

*Розрахунок і вибір ємності для зберігання бінарної суміші [7].*  
Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення  $\psi = 0,8 - 0,85$ . Приймаємо  $\psi = 0,82$ .

*Розрахунковий об'єм ємності:*

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.53)$$

$$V_{EP} = \frac{8000 \cdot 7}{0,85 \cdot 800} = 82,4 \text{ м}^3.$$

*Для зберігання вихідної суміші встановлюємо дві окремі ємності.*

*Задаємося стандартизованим діаметром ємності  $D = 3,6 \text{ м}$ , тоді її висота буде становити:*

$$H = \frac{V_{EP} / 2}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.54)$$

$$H = \frac{82,4 / 2}{0,785 \cdot 3,6^2} = 4,0 \approx 5 \text{ м}.$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		35

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Для подальших розрахунків приймаємо робочу температуру стінки  $t=100^{\circ}\text{C}$  та робочий тиск в апараті  $P = 0,1 \text{ МПа}$ .

Розрахункова схема обичайки корпусу, навантаженого внутрішнім тиском, наведена на рис. 3.1.

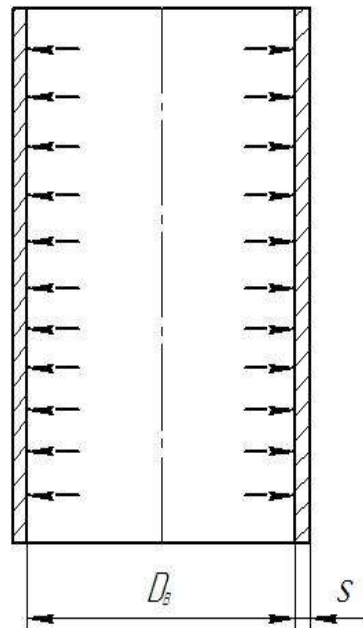


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема обичайки корпусу

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском  $P > 0,07 \text{ МПа}$  відповідно до рекомендацій наведених у [14] складе:

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

Приймаємо стандартне значення  $0,25 \text{ МПа}$  [14].

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні [14]:

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

де  $[\sigma]_{20}, [\sigma]$  – допустиме напруження для матеріалу корпусу при розрахунковій температурі і температурі  $20^{\circ}\text{C}$ , згідно [13]:

$$[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа}, [\sigma] = 152 \text{ МПа};$$

$$P_{np} = \max \left\{ \frac{1,5 \cdot 0,25 \cdot 140}{0,25 + 0,3}, \frac{132}{132} \right\} = \max \left\{ 0,43, 0,55 \right\} = 0,55 \text{ МПа}.$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу, згідно [14]:

$$E_{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}; E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [14], складе:  $\varphi = 0,9$ .

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

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

$$S_k = \frac{0,55 \cdot 1,4}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,55} = 0,0028 \text{ м}.$$

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_k + C, \quad (3.4)$$

де  $C$  – компенсаційна прибавка, яка складається зі складових:

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

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$C_1$  – прибавка на корозію і ерозію, при проникності  $\Pi = 0,4$  мм/рік та терміні служби колони  $\tau=10$  років складе:

$$C_1 = \Pi \cdot \tau = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ мм};$$

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

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

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

Таким чином:

$$C = 4 + 0 + 0 = 4 \text{ мм};$$

$$S = 0,0028 + 0,004 = 0,0068 \text{ м.}$$

Приймаємо  $S=8$  мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}; \quad (3.6)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0,9 \cdot (0,008 - 0,004)}{1,4 + (0,008 - 0,004)} = 0,78 \text{ МПа.}$$

Умова міцності має вигляд [14]:

$$P < [P]: 0,55 \text{ МПа} < 0,78 \text{ МПа} - \text{умова міцності виконується.}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункова схема еліптичного днища представлена на рис. 3.2.

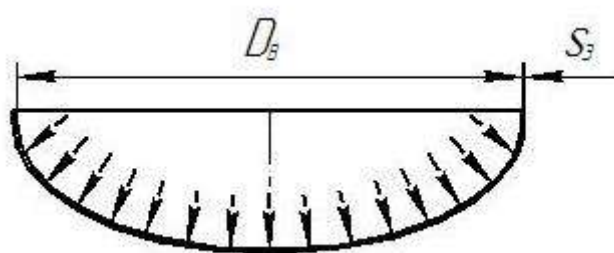


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема еліптичного днища апарата

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

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

де  $R$  – радіус кривизни в вершині днища.

Для еліптичних днищ  $R = D$ .

$$S_\delta = \frac{0,55 \cdot 1,4}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,55} = 0,0028 \text{ м.}$$

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

$$C = 4 + 0 + 0 = 4 \text{ мм.}$$

$$S_\delta = 0,0028 + 0,004 = 0,0068 \text{ м.}$$

Також приймаємо  $S_\delta = 8 \text{ мм.}$

### 3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарату на опору по формулі:

$$Q_{an} = M_{an} \cdot g, \quad (3.9)$$

де  $M_{an}$  – маса порожнього апарату:

$$M_{an} = M_{\kappa} + M_{\text{дн}} + M_{\text{кр}} + M_m + M_{\text{фл}}, \quad (3.10)$$

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

$$M_{\kappa} = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho, \quad (3.11)$$

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

$$M_{\kappa} = 17,05 \cdot 3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 4677 \text{ кг.}$$

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = F \cdot s \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де  $F$  – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища  $F = 1,62 \text{ м}^2$ ;

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 1,62 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 101 \text{ кг.}$$

Маса тарілок:

$$M_m = N \cdot m_m, \quad (3.13)$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



де  $m_m=81$  кг – маса однієї клапанної тарілки.

$$M_m = 34 \cdot 81 = 2754 \text{ кг.}$$

Масу фланців і арматури приймемо рівною  $M_{фл}=1000$  кг.

Маса порожнього апарату:

$$M_{ан} = 4677 + 2 \cdot 101 + 2754 + 1000 = 8633 \text{ кг;}$$

$$Q_{ан} = 8633 \cdot 9,81 = 84690 \text{ Н}$$

Навантаження апарату на опору при гідравлічних випробуваннях:

$$Q_{ан}^g = (M_{ан} + M_g) \cdot g, \quad (3.14)$$

де  $M_g$  – маса залитої в апарат води.

$$M_g = V \cdot \rho_g, \quad (3.15)$$

де  $V$  – об'єм апарату

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H;$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 17,05 = 26,2 \text{ м}^3;$$

$$M_g = 26,2 \cdot 1000 = 26200 \text{ кг;}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						41
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{an}^6 = (84690 + 26200) \cdot 9,81 = 1,09 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

За [14] вибираємо циліндричну опору: 1400-30-15-350.

### 3.3 Розрахунок апарата на вітрове навантаження

Ректифікаційну колону розраховують як консольну балку, навантажену рівномірно розподіленим вітровим навантаженням, що діє на корпус колони, і зосередженими силами, які є рівнодійними сил вітрового натиску на окремі елементи конструкції (сходи, площадки, теплообмінники тощо).

Момент від розподіленого навантаження обчислюється як рівнодійна, прикладена до середини апарату:

$$M = \beta \cdot c \cdot q \cdot D \cdot H, \quad (3.16)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт збільшення швидкісного напору вітру за рахунок динамічного впливу, викликаного поривами вітру;

$c$  – аеродинамічний коефіцієнт обтікання (для циліндричних апаратів  $c = 0,6$ );

$q$  – значення вітрового напору на висоті, що відповідає середині розрахункового ділянки,  $\text{Н/м}^2$  [14];

$D$  – зовнішній діаметр колони, м;

$H$  – висота розрахункової ділянки (у нашому випадку висота апарату), м.

Коефіцієнт збільшення швидкісного напору вітру визначається за формулою:

$$\beta = 1 + \zeta \cdot m, \quad (3.17)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт динамічності, який знаходять за графіком залежно від періоду власних коливань апарату [14];

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						42
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

*t* – коефіцієнт пульсації швидкісного напору вітру; приймають за графіком залежно від висоти колони *H* [14].

$$\beta = 1 + 1,4 \cdot 0,8 = 2,12;$$

$$P = 2,12 \cdot 0,6 \cdot 3,21 \cdot 1,416 \cdot 18,450 = 106,7 \text{ МПа}.$$

*Умова міцності на навітряній стороні апарату:*

$$P \leq [\sigma] \cdot \varphi;$$

$$106,7 \leq 152 \cdot 1 = 152 \text{ МПа} \text{ – умову виконано.}$$

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## **4 Монтаж та ремонт апарата**

### **4.1 Монтаж апарата**

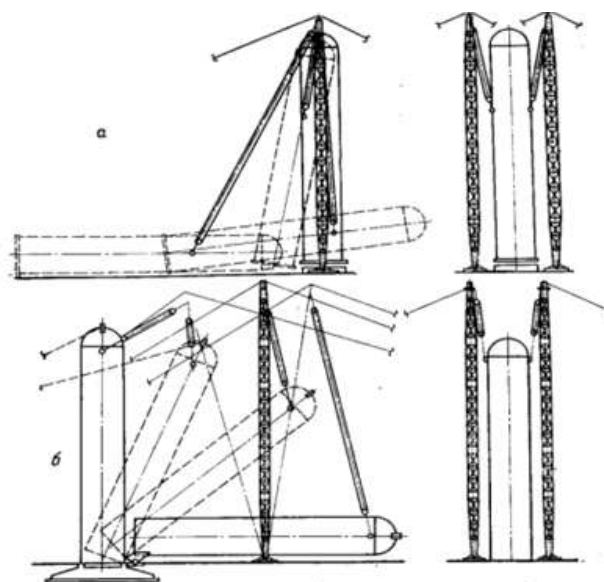
*Стадії монтажу колонної апаратури передуює стадія збирання блоків, а потім уже приварюється опорна частина. Стиковку окремих частин колоди роблять за заводськими контрольними позначеннями (рисками). Відхилення розмірів стикуючих між собою ділянок повинні знаходитися у межах допустимих норм.*

*У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача. Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.*

*Масобмінна тарілка являє собою контактний пристрій у середині колони, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати*

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

*при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підймання повністю зібраного апарату (рис. 4.1).*



*Рисунок 4.1 – Способи підйому колонного апарату: 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 заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°. Значно легше забезпечити суворе горизонтальне положення тарілок в уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарату; в цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.*

*Збирання тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз’ємних деталей (кишень, зливів, дисків, глухих сегментів). Зварку роблять в суворій відповідності з технічними умовами, із огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі*

дефекти зварювання. Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж. Барботаж – процес проходження газу через шар рідини, створюється велика поверхня контакту фаз, що інтенсифікує процеси, які проходять в колоні. Для цієї мети закриваються всі люки, розташовані нижче контрольованої тарілки, тарілка заливається водою. Тарілку заливають водою так, щоб надмірна кількість води зливалася через зливні пристрої. Злив по всьому периметру повинен бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Товщина шару води на всіх ділянках тарілки повинна бути також однаковою. Після заповнення гідрозатворів в зливних кишнях перевіряється тарілка, компресором нагнітають повітря. Рівномірність барботажа контролюється візуально.

## **4.2 Ремонт апарата**

Перед початком ремонту працівники технологічного цеху (оператори) виконують підготовчі роботи. Потім до роботи приступає ремонтний персонал виконавця ремонтних робіт (слюсарі-ремонтники). Як правило, при ремонті колонних апаратів з внутрішніми пристроями тарільчатого типу передбачається наступний склад робіт: приймання колони в ремонт за актом представником ремонтної організації (майстром ремонтно-механічної бригади). При виконанні ремонту колони рекомендується наступний порядок проведення робіт. Перед тим як безпосередньо приступати до ремонту необхідно отримати інструктаж з охорони праці, техніки безпеки, газобезпеки, пожежної безпеки і оформити наряд допуск на проведення газонебезпечних робіт всередині колони.

Керівник ремонтного підрозділу (майстер РМЦ, виконроб) повинен ознайомитися з результатами підготовчих робіт до ремонту колони або в цілому установки, зазначених в наряді допуску, з умовами, характером та обсягом робіт на місці їх виконання. Отримати дозвіл особи, відповідальної за

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						46
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

організацію безпечного проведення газонебезпечних робіт в цеху (начальника або заст. начальника цеху) і приступити до виконання ремонтних робіт.

Розтин люків-лазів роблять, починаючи із верхнього, і далі послідовно зверху вниз. Забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки-лази щоб уникнути підсосу повітря в колону і займання пароповітряної суміші (або пірофорних з'єднань).

Працівниками технологічного цеху проводиться відбір проб повітря з усіх люків колони. Результати аналізів на вміст вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних речовин і на вміст кисню записуються в наряді допуску. Для проведення подальших робіт необхідно отримати акти від співробітників ГСС, які підтверджують, що зміст вибухо і пожежонебезпечних речовин в повітрі колони нижче ГДК, а вміст кисню не нижче 18 % об'ємних. Для демонтажу та монтажу внутрішніх пристроїв монтують блок з оснащенням, електролебідку. Якщо існує ймовірність значної забрудненості повітряного середовища усередині апарату під час чищення встановлюють на нижній люк колони вентилятор для подачі в колону чистого повітря.

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

Маска повинна бути в положенні «напоготові». При роботі в колонах великого діаметра (3 і більше метрів) допускається доступ всередину 4-х, 6-ти і більше осіб, дотримуючись при цьому заходів безпеки.

Очищення стінок міжтарілочного простору, опорних конструкцій тарілок, зливних кишень і стінок кубової частини колони роблять за допомогою металевих скребоків і щіток, а також за допомогою механізованих

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

*приспосувань і інструментів. Відкладення і бруд видаляють з колони дерев'яними лопатами через люк-лаз і спускають їх вниз в цеберко зі спеціальними жолобами або відрами з використанням блоку.*

*Тарілки розбирають в кожному люку послідовно, починаючи з верхньої. Повне розбирання всіх тарілок роблять по секціях (сегментах), спуск секцій тарілок проводиться за допомогою встановленої у верхній частині колони поворотною кран-укосини потрібної вантажопідйомності.*

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

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

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

*Відбраковані деталі тарілок опускають на позначку 0.00 за допомогою електролебідки. При наявності на технологічному майданчику самохідних кранів з необхідними технічними характеристиками деталі тарілок опускаються на майданчик з їх допомогою. При ремонті корпусу колони куруються ОТУ 2 - 92, відповідно до яких розробляється технологія усунення дефектів корпусу і його покриття. Ремонт опорних конструкцій тарілок, зливних кишень вогневими методами з використанням ручного дугового електрозварювання (РДЕЗ) і газозварювання проводять після оформлення дозволу на проведення вогневих робіт всередині апарату, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і наряду - допуску на проведення робіт підвищеної*

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



небезпеки на кожен робочу зону, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони. За результатами внутрішнього і зовнішнього огляду при наявності розпорядження інспектора відділу технічного нагляду або відповідного органу РТН проводять підвар дефектних ділянок зварних швів корпусу колони. Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце ставлять нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Тип зварювання - 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.

Проводять заміну штуцерів і різьбових з'єднань за окремим вогневому дозволу, дозволу на проведення газонебезпечних робіт і нарядом - допуском, при позитивних аналізах повітряного середовища всередині колони. Ремонт тарілок зазвичай полягає в заміні зношених деталей і кріпильних виробів. Відремонтовані і замінені деталі тарілок піднімають на майданчики за допомогою електролебідки, подають їх в колону вручну мотузками через люки-лази. Монтаж секцій тарілок всередині колони можна проводити за допомогою блоків і поліспаств. При наявності на майданчику самохідних кранів з відповідними технічними характеристиками подачу тарілок на майданчики можна здійснювати з їх допомогою.

Збірку тарілок проводять аналогічно розбиранню, в зворотному порядку, знизу-вгору. При складанні тарілок контролюють горизонтальність установки тарілок за шаблоном або за допомогою лінійки і рівня. Відхилення від горизонтальності має бути в допустимих межах, визначених індивідуально для кожного типу тарілок в "Інструкції з технічного нагляду, ревізії і відбракування" (ІТН-93). Перевірку правильності установки клапанів, жолобів і інших деталей тарілок здійснюють наливом води на тарілку і подачею повітря

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

в низ колони, при цьому рівномірність барботажа свідчить про правильність встановлення тарілки. Після закінчення встановлення тарілок і ремонту колони якість проведених ремонтних робіт перевіряє представник адміністрації цеху, відповідальний за проведення ремонту (старший механік цеху, заст. начальника цеху з ремонту). Після цього з колони прибирають сторонні предмети, матеріали, інструменти, пристосування і закривають люки-лази. Люки-лази закривають знизу-вгору, починаючи з нижнього, з заміною зношених прокладок і різьбових з'єднань.

Проводять гідравлічне випробування колони пробним тиском зі здачею за актом представнику відділу технічного нагляду підприємства або інспектору відповідного органу РТН. Гідравлічне випробування проводиться відповідно до "Методичних вказівок по гідравлічному випробуванню посудин, що працюють під тиском" по інструкції, розробленій з урахуванням вимог технічного проекту і інструкції по монтажу і експлуатації апарату підприємства-виробника. Якщо апарат працює під тиском шкідливих речовин 1, 2, 3, 4-го класів небезпеки за ГОСТ 12.1.007, то проводять пневматичне випробування апарату на герметичність повітрям або інертним газом під тиском, що дорівнює робочому.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 Охорона праці

*Сутність та будова занулення, сфера застосування та вимоги до нього.*

*Занулення – навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою (корпуси електроустановки, кабельні конструкції, сталеві труби тощо). Занулення застосовується в трифазних чотири провідних електричних мережах напругою до 1000 В з глухо заземленою нейтраллю, а також в однофазних двопровідних мережах з глухо заземленою нейтраллю.*

*Занулення обов'язково в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних, а також у безпечних приміщеннях при напрузі вище 42 В змінного і вище 110 В постійного струму.*

*Зануленню підлягають металеві не струмоведучих частини електроприймачів, в тому числі металеві корпуси електроприладів, контрольних та налагоджувальних стендів, трансформаторів, пускових і регулювальних реостатів, переносних електроприймачів тощо [17].*

*Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання з метою викликати протікання великого струму в контурі 40 фазний – нульовий провідник, достатнього для швидкого автоматичного відключення ушкодженої електроустановки максимальним струмовим захистом.*

*Призначення занулення, це захист людини при дотику до корпусу й іншим відкритим провідним частинам електроустановки, що виявилися під напругою щодо землі при замиканні фази на корпус [18].*

*У чотирипровідних або п'ятипровідних мережах з нульовим проводом і глухозаземленою нейтраллю джерела струму напругою до 1000 В, так звана система TN занулення, – основний засіб захисту. Заземлення в таких мережах неефективне.*

*Підключення корпусів електроустановок до нейтралі джерела струму здійснюють за допомогою нульового захисного провідника (PE-провідника).*

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Його не можна плутати з нульовим робочим проводом (*N*-провідником), який також з'єднаний з нейтраллю джерела, але служить для живлення однофазних електроустановок. Нульовий захисний провідник **PE** прокладають по трасі фазних проводів, в безпосередній близькості від них. Систему, де присутні нульовий робочий провід *N* і нульовий захисний провідник **PE**, і вони розділені на всьому протязі траси, називають **системою TN-S**. Буква *S* означає розділення вказаних провідників на всьому їх протязі.

В якості нульового захисного провідника в мережах до 1000 В в першу чергу рекомендується використовувати нульовий робочий провідник (крім спеціально обумовлених випадків), до яких під'єднують корпусу електроустановок. У цьому випадку його називають поєднаним нульовим захисним і нульовим робочим провідником (**PEN**-провідником), а саму систему – **системою TN-C**. Це система *TN*, в якій нульовий захисний і нульовий робочий провідники поєднані в одному провіднику на всьому її протязі (рис. 5.1).

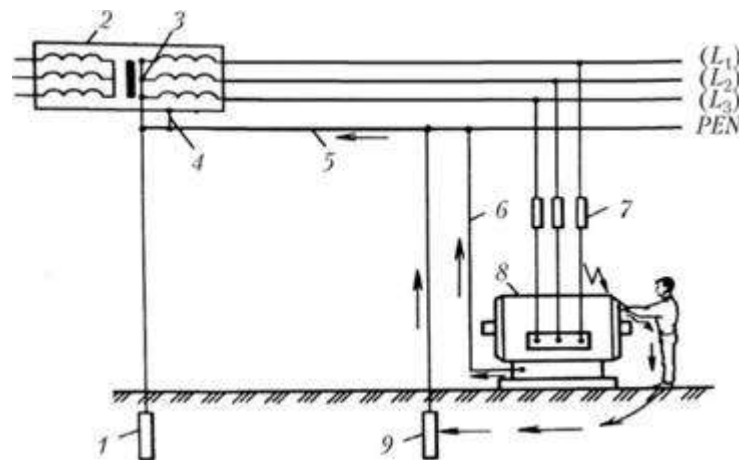


Рисунок 5.1 – Схема занулення (система **TN-C**): 1 – заземлювач нейтралі трансформатора; 2 – джерело струму (трансформатор); 3 – нейтраль джерела струму; 4 – занулення корпусу трансформатора; 5 – нульовий робочий (він же і нульовий захисний) провід мережі; 6 – нульовий захисний провід електроустановки; 7 – запобіжник; 8 – електроустановка; 9 – повторне заземлення нульового захисного проводу мережі;  $L_2$ ,  $L_3$  – фазні дроти; **PEN** – нульовий робочий провідник і нульовий захисний провідник, суміщені в одному

*Якщо ж функції нульового захисного і нульового робочого провідників поєднані в одному провіднику тільки в якійсь її частині, починаючи від джерела живлення, а далі вони йдуть роздільно (перший з них служить для захисту електроустановок, а другий – для живлення однофазних електроустановок), то таку систему називають **системою TN-CS** [19].*

***Система занулення TN-S** – найбільш досконала, дорога і безпечна система занулення, що одержала поширення, зокрема, у Великобританії. У цій системі нульовий захисний і нульовий провідники розділені на всій своїй довжині, що виключає вірогідність її виходу з ладу при аварії на лінії або помилку в монтажі електропроводки [20].*

*Згідно ПУЕ не допускається використовувати як РЕ провідників:*

*– металеві оболонки ізоляційних трубок і трубчастих проводів, несучі троси при тросовій електропроводці, металорукава, а так само свинцеві оболонки проводів та кабелів;*

*– трубопроводи газопостачання та інші трубопроводи горючих і вибухонебезпечних речовин і сумішей, труби каналізації та центрального опалення;*

*– водопровідні труби при наявності в них ізолюючих вставок.*

*Захисна дія занулення заснована на зниженні до безпечної величини струму, що проходить через людину в момент торкання їм пошкодженої електроустановки, та подальшому відключенні цієї установки від мережі. Працює занулення наступним чином. При попаданні напруги на корпус занулення електроустановки 8 (рис. 5.1) велика частина струму з нього піде в мережу через нульовий захисний провід 6. Через тіло людини по ланцюгу: корпус електроустановки 8 – людина – земля – заземлювальний пристрій 9 – нульовий робочий провід 5 піде незначний струм, що не викликає його поразки (зважаючи більш високого опору цього ланцюга в порівнянні з опором ланцюга через нульовий захисний провід 6). Одночасно з цим замикання на корпус фазного проводу при такій схемі захисту автоматично перетворюється на*

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		53

однофазне коротке замикання між фазним і нульовим робочим проводом 5 мережі, внаслідок чого через 0,2–7 с спрацьовує струмовий захист (перегорає запобіжник 7, вимикається автоматичний вимикач і т.п.) і електроустановка, а разом з нею і людина, повністю знеструмлюються. Таким чином, в початковий момент занулення працює аналогічно захисного заземлення, а в подальшому воно повністю припиняє дію струму на людину. Тільки при цьому струм, що проходить через тіло людини до спрацьовування захисту, буде в кілька разів менше, тому що опір зануляється провідника зазвичай не перевищує 0,3 Ом, а допустимий опір заземлювача – 4 Ом.

Нульовий захисний провід 5 мережі повинен забезпечувати надійне з'єднання корпусів електроустановок з нейтраллю джерела. Тому всі з'єднання виконують зварними. У ньому забороняється установка запобіжників і вимикачів (за винятком випадку одночасного відключення і фазних проводів).

Нульовий захисний провід 5 мережі заземлюють: у джерела струму за допомогою заземлювача 1; на кінцях повітряних ліній (або відгалужень від них) довжиною понад 200 м; на вводах повітряної лінії до електроустановок. Повторні заземлення 9 необхідні для зменшення небезпеки ураження електричним струмом при обриві нульового проводу і замиканні фази на корпус електроустановки за місцем обриву, а також для зниження напруги на корпусі в момент спрацьовування струмового захисту. Згідно ПУЕ опір заземлювального пристрою, до якого приєднана нейтраль джерела струму, з урахуванням природних і повторних заземлювачів нульового проводу має бути не більше 2, 4 і 8 Ом відповідно при лінійних напругах джерела трифазного струму 660, 380 і 220 В. Опір кожного повторного заземлювача в окремо повинно бути не більше 15, 30 і 60 Ом відповідно при тих же напругах.

У мережі, де застосовують занулення, не можна заземлювати корпус електроустановок без їх занулення, так як у випадку замикання фази на корпус заземленою, але не зануленою електроустановки, під його напругою опиняться всі корпуси інших занулених електроустановок. У той же час, додаткове

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

заземлення занулених електроустановок вельми корисно. Воно підвищує надійність заземлення нульового проводу.

Якщо в приміщенні знаходиться декілька електроустановок, то кожен з них заземлюють або занулюють, під'єднуючи до магістралі заземлення (занулення), що представляє собою металевий провідник перерізом не менше  $100 \text{ мм}^2$  (наприклад, сталева смуга  $40 \times 4 \text{ мм}$ ), укріплений по периметру приміщення. Магістраль з'єднують з заземлювачем, або з нульовим захисним провідником (залежно від прийнятої системи захисту), або з тим і іншим одночасно.

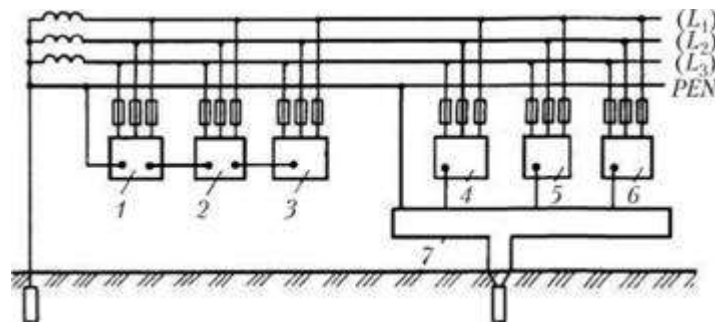


Рисунок 5.2 – Схема групового занулення електроустановок: 1, 4, 5 і 6 – правильне занулення електроустановки; 2 і 3 – неправильне занулення електроустановки; 7 – магістраль заземлення (занулення) [19]

Магістраль занулення – це нульовий захисний провідник із двома або більше розгалуженнями. Магістраль занулення може бути виконана як окрема шина в щитку освітлення чи в збірці до якої приєднані РЕ провідники від окремих струмоприймачів. Магістраль занулення може бути виконана як внутрішній контур, прокладений вздовж стін цеху чи дільниці, до якого приєднаний основний PEN чи N провідник і РЕ провідники від кожного струмоприймача. До цього контуру приєднують металеві частини технологічного обладнання, стаціонарні трубопроводи всіх призначень, металеві будівельні і промислові конструкції з метою зрівнювання потенціалів. У нових нормативних документах магістраль занулення визначається як

головна шина заземлення системи зрівнювання потенціалів за системи заземлення TN.

Занулення можна розглядати як поєднання двох видів захисту від непрямого дотику (торкання): автоматичного вимкнення живлення і зрівнювання потенціалів. Зрівнювання потенціалів досягається заземленням нейтралі джерела живлення до якої приєднані відкриті провідні частини електрообладнання. Таким чином, за нормального режиму, потенціал корпусу обладнання близький до потенціалу землі, а напруга дотику між корпусом обладнання до якого торкається людина і землею на якій стоїть людина близька до нульового значення [21].

Вимоги щодо застосування занулення залежно від величини напруги і категорії приміщень за небезпекою електротравм аналогічні вимогам до застосування захисного заземлення. За величиною напруги мережі живлення застосування занулення обмежується напругою до 1 кВ.

Згідно з чинними нормативами можливі два варіанти реалізації занулення:

- заземлена через певні відстані (100...200 м) нейтраль мережі виконує функції нульового робочого і нульового захисного провідника одночасно;
- для занулення обладнання прокладається окремий провідник, який виконує функції тільки нульового захисного.

Другий варіант є обов'язковим для житлових, адміністративно-побутових приміщень, приміщень масового перебування людей та їм подібних, що будуються.

У цьому випадку в приміщеннях з однофазною мережою внутрішня мережа виконується 3-х провідною - фаза, нуль робочий і нуль захисний, а розетки для підключення переносних споживачів електроенергії – 3-х контактні. При відповідному виконанні штепсельних вилок і шнура живлення (трипровідний) контакт мережі нульового захисного провідника замикається

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						56
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



з упередженням відносно контактів фази і нульового робочого провідника. Таким чином споживач електроенергії занулюється до подачі на нього напруги.

У приміщеннях з 3-хфазними споживачами внутрішня мережа виконується 5-ти провідною – 3 фази, нуль робочий і нуль захисний.

Незалежно від розглянутих варіантів при застосуванні в приміщенні окремого нульового захисного провідника останній відгалужується від нейтралі мережі на щитку вводу в приміщення до роз'єднуючи контактів, а для забезпечення його цільності і надійності захисту в мережі цього провідника не повинно бути будь-яких роз'єднувачів, запобіжників тощо [22].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						57
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список літератури

1. Вікіпедія. Бензен [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Бензен>
2. Вікіпедія. Толуен [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/Толуен>
3. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1972. – 494 с.
4. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
5. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Л. : Химия, 1991. – 352 с.
6. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
7. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л. : Химия, 1987. – 576 с.
8. Лащинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лащинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
9. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лащинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
10. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.
11. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П.

											Лист
											58
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ						

Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

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

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

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

15. Гайдамак К. М. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности / К. М. Гайдамак, Б. А. Тыркин. – М. : Высшая школа, 1974. – 286 с.

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

17. Розрахунок занулення електрообладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://89.185.3.253/bitstream/123456789/28402/1/254-256.pdf>

18. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики / Уклад.: В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 84 с.

19. Захисне заземлення та занулення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://stud.com.ua/32692/bzhd/zahisne\\_zazemlennya\\_zanulennya](https://stud.com.ua/32692/bzhd/zahisne_zazemlennya_zanulennya)

20. Заземлення та занулення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.maksvel.com.ua/index.php/statti/33-zazemlennia-ta-zanulennia>

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

22. Електробезпека [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://vinodelie.at.ua/охорона/лекції/тема\\_3.2.pdf](http://vinodelie.at.ua/охорона/лекції/тема_3.2.pdf)

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
						59
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		