

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

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
**зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"**  
**освітня програма "Комп'ютерний інжиніринг**  
**обладнання хімічних виробництв"**

Тема роботи: Установка очищення газоповітряної суміші від  $H_2S$ . Розробити абсорбційну колону з ковпачковими тарілками

Виконав:  
студент групи ХМдн-64с  
Вишегородцев Сергій Євгенович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

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

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, асистент

Литвиненко А.В.

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

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

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

Курс 2    Група ХМдн-64с    Семестр 4

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

Студент Вишегородцев Сергій Євгенович

1 Тема проекту: Установка очищення газоповітряної суміші від  $H_2S$ . Розробити абсорбційну колону з ковпачковими тарілками.

2 Вихідні дані: Розробити абсорбційну колону з ковпачковими тарілками для очищення газоповітряної суміші від  $H_2S$ . Об'ємна витрата газоповітряної суміші  $3800 \text{ м}^3/\text{год}$ . Температура  $20^\circ\text{C}$ . Тиск в апараті 8 атм. Початковий вміст  $H_2S$  у газоповітряній суміші  $150 \text{ г}/\text{м}^3$ . Ступінь насичення абсорбенту 94 %. У якості абсорбенту використовується вода.

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

- |                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 1. Технологічна схема установки   | – 1,0 арк. |
| 2. Складальний кресленик апарату  | – 1,0 арк. |
| 3. Кресленики складальних одиниць | – 1,0 арк. |

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р.О. Острога, М.С. Скиданенко, Я.Е. Михайловський, А.В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Машины и аппараты химических производств / Под ред. проф. И.И. Чернобыльского. – М. : Машиностроение, 1974. – 456 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

асист. Литвиненко А.В.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 56 с., 6 рис., 2 табл., 2 додатки, 20 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки очищення газоповітряної суміші від  $\text{H}_2\text{S}$ , складальний кресленик абсорбційної колони, складальний кресленик ковпачкової тарілки, складальний кресленик опори апарату – усього 4 аркуші (3,0×А1).

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Установка очищення газоповітряної суміші від  $\text{H}_2\text{S}$ . Розробити абсорбційну колону з ковпачковими тарілками».

Наведено теоретичні основи та особливості процесу абсорбції. У роботі виконано технологічні розрахунки процесу, визначено геометричні розміри апарата, його гідравлічний опір, обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів апарата, розраховано допоміжне обладнання. Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарата. У розділі «Охорона праці» розглянуто фактори, що визначають наслідки ураження електричним струмом людини, та види уражень.

Ключові слова: УСТАНОВКА, АБСОРБЦІЯ, ТАРІЛЧАСТА КОЛОНА, КОВПАЧКОВА ТАРІЛКА, АЮСОРБЕНТ, ПОГЛИНАННЯ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ.

## Зміст

	С.
Вступ	5
1 Технологічна частина	7
1.1 Опис технологічної схеми установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу	8
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	14
2 Технологічні розрахунки процесу і апарата	18
2.1 Технологічні розрахунки	18
2.2 Конструктивні розрахунки	22
2.3 Гідравлічний опір апарата	25
2.4 Вибір допоміжного обладнання	30
3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність	33
3.1 Визначення товщини стінки обичайки апарата	33
3.2 Визначення товщини стінки кришки і днища апарата	35
3.3 Розрахунок опори апарата	36
4 Монтаж та ремонт апарата	39
4.1 Монтаж апарата	39
4.2 Ремонт апарата	41
5 Охорона праці	44
Список літератури	55
Додаток А – Побудування робочої та рівноважної лінії процесу	
Додаток Б – Специфікації до складальних креслеників	

					<b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Вишегородцев			<b>Абсорбційна колона з ковпачковими тарілками Пояснювальна записка</b>	Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Литвиненко					4	56
Реценз.						<b>СумДУ, ХМдн-64с</b>		
Н. Контр.								
Затверд.		Склабінський						



Відзначимо, що в реальних процесах фізична абсорбція у чистому вигляді зустрічається порівняно рідко, набагато частіше одночасно із процесом фізичної абсорбції протікають хемосорбційні взаємодії фаз, а в багатьох процесах, пов'язаних із виробництвом неорганічних кислот, хемосорбційні процеси є основними.

Процеси абсорбції протікають у спеціальних колонних апаратах – абсорберах, при цьому основним призначенням абсорбера є створення умов для протікання процесу, організація активної взаємодії між собою газової й рідкої фаз та утворення розвиненої поверхні фазового контакту [1].

Зміст розділів у даній пояснювальній записці формувався відповідно вимогам [3].

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

# 1 Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної схеми установки

Особливістю процесу абсорбції є те, що в ній дифузія речовини, яка поглинається абсорбентом, проходить тільки в одному напрямку – із газової фази в рідку, при цьому рушійною силою процесу є різниця робочої й рівноважної концентрацій абсорбату у газовій фазі.

На хімічних установках паралельно із абсорбцією, в окремих апаратах, проводять і десорбцію. І якщо абсорбцію розглядають як процес прямого переходу речовини, що поглинається, з газової або парової фази в рідку, то десорбцію розглядають як зворотний процес перенесення речовини з рідкої фази в газу. Десорбцію проводять з метою виділення з абсорбенту поглиненої речовини в чистому вигляді, для регенерації абсорбенту й повторного його використання в абсорбційній установці, а також з метою зниження енергетичних і експлуатаційних витрат [1].

У залежності від цільового призначення процесу абсорбції використовують різні абсорбенти – від води й водних розчинів лугів і солей до різних органічних рідин і їх сумішей (неводних розчинників).

Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу, поглинання  $H_2S$  з газоповітряної суміші відбувається водою. Таким чином, доцільно використовувати схему без десорбції компонента. Адже у результаті процесу абсорбції отримуємо готовий продукт і регенерація насиченого поглинача не потрібна.

Технологічну схему абсорбційної установки очищення газоповітряної суміші від  $H_2S$  наведено на рис. 1.1.

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Вихідна газоповітряна суміш за допомогою турбокомпресорів K1 і K2 нагнітається у міжтрубний простір кожухотрубних холодильників X1 і X2, встановлених послідовно. Таким чином, у холодильнику X1 відбувається, так звана, перша ступінь охолодження, а у холодильнику X2 – відповідно друга ступінь. Після чого, охолоджена суміш подається у нижню частину тарілчастої абсорбційної колони ТА, де рівномірно розподіляється по перетину колони (під її нижньою тарілкою).

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











послідовно утворюються струминний, пінний і інжекційний режими барботування. Струминний і пінний режим є основними робочими режимами, при яких на тарілці утворюється високий шар ніздрюватої і рухливої піни, у якій досягається інтенсивний масообмін. Якщо швидкість газу в отворах перевищить певну межу, то на тарілці виникає інжекційний режим, при якому газові струмені прориваються через шар піни разом з рідиною, підхоплюють її і викидають в міжтарілчастий простір, при цьому піна може захоплюватись і перекидатися через парові патрубки на вище розміщену тарілку. У такому випадку настає режим «захлинання», відбувається вирівнювання концентрацій по висоті апарата та припиняється робота колони через призупинення руху рідини донизу колони.

Для абсорбційно-десорбційних процесів рівновага між газами і їх розчинами в рідині описується законом Генрі, згідно з яким парціальний тиск розчиненого газу над розчином пропорційний його мольній частці в розчині:

$$p^* = Ex \quad (1.1)$$

Значення коефіцієнта Генрі залежать від природи поглинаючого газу і поглинача, а також від температури, але не залежать від загального тиску в системі.

При відсутності експериментальних даних залежність коефіцієнта Генрі від температури розраховують за рівнянням:

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + C, \quad (1.2)$$

де  $C$  – константа, що залежить від природи газу і поглинача.

Закон Генрі застосуємо до розчинів газів, критичні температури яких вище температури розчину, і справедливий тільки для ідеальних розчинів. Тому він з достатньою точністю дотримується при малих концентраціях розчиненого газу. При великих концентраціях газів в розчині їх розчинність менше, ніж впливає із закону Генрі.

Залежність між рівноважними складами газової і рідкої фаз можна отримати на основі спільного використання законів Генрі і Дальтона:

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}}, \quad (1.6)$$

де  $1/\beta_y$  – опір масопередачі, що чиниться газовою фазою;  
 $m/\beta_x$  – опір рідкої фази;

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{(m\beta_y)} + \frac{1}{m\beta_x}}, \quad (1.7)$$

де  $1/(m\beta_y)$  – опір газової фази;  
 $1/m\beta_x$  – опір рідкої фази.

### **1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів**

У даному проекті об'єктом розробки є абсорбційна колона з ковпачковими тарілками (рис. 1.2).

Абсорбер конструктивно складається із циліндричної обичайки, до якої за допомогою фланцевого з'єднання і зварювання прикріплені еліптична кришка і еліптичне днище відповідно. Усередині корпусу горизонтально встановлені контактні пристрої у вигляді ковпачкових тарілок. Саме за допомогою тарілок і створюється спрямований рух фаз, а також забезпечується багаторазова взаємодія рідини і газу.

Ковпачкові капсульні тарілки мають приблизно на 20 % більшу продуктивність ніж аналогічні перехреснотоккові контактні пристрої. Також вони характеризуються високою ефективністю, широким робочим діапазоном (понад 4 режими роботи) і помірною металоємністю (60–90 кг/м<sup>2</sup>). Хоча за продуктивністю тарілки цього типу поступаються тарілкам більш сучасних конструкцій і порівняно трудомісткі у виготовленні і монтажі, але вони по теперішній час знаходять своє застосування завдяки універсальності галузей практичного використання і невибагливості в експлуатації.

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

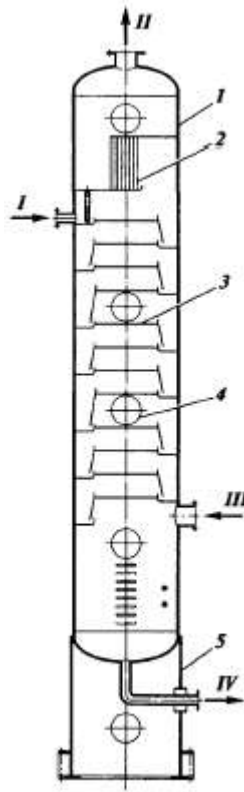


Рисунок 1.2 – Схема тарілчастого абсорберу з основними потоками:

1 – корпус; 2 – краплевідбійник; 3 – масообмінна тарілка; 4 – люк; 5 – опора;  
**потоки** I – ненасичений абсорбент; II – очищена газоповітряна суміш; III – суміш,  
 що містить підвищену концентрацію  $H_2S$ ; IV – насичений абсорбент

Ковпачкові тарілки мають переливні пристрої, а проходження газу здійснюється через невеликі по висоті патрубки, які зверху накріті ковпачками. Бульбашки газу, що виходять через прорізи ковпачка, зливаються у струмені. Утворені струмені мають більшу кінетичну енергію і завдяки цьому проходять шар рідини, яка знаходиться на тарілці. Над рідиною утворюється шар піни і бризок – основна область масообміну і теплообміну між паром і рідиною на тарілці [6].

Для створення великої площі поверхні масопередачі на тарілках встановлюється велике число патрубків 6 і регульованих капсульних ковпачків 5. Розріз капсульного ковпачка показаний на рис. 1.3.

Відстань від тарілки до нижнього обріза ковпачка 5 регулюється за допомогою втулки 4 і гайки 2, що встановлені на болті обмежувачі 3. Тарілки з капсульними ковпачками найбільш широко поширені в промисловості.

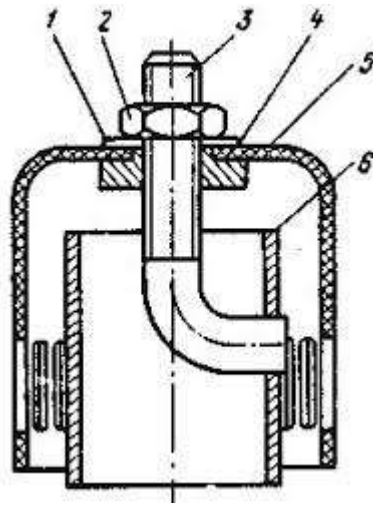


Рисунок 1.3 – Схема капсульного ковпачка

Ковпачкові тарілки стійко працюють при значних змінах навантажень по газу та рідині. До головних недоліків капсульних ковпачків можна віднести [6]:

- складність конструкції;
- високу вартість;
- відносно високий гідравлічний опір.

Слід зазначити, що на відміну від ситчастих тарілок ковпачкові не засмічуються твердими домішками, які знаходяться в суміші.

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур при значних тисках, та при агресивному впливі середовищ [7].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [7–9].

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 конструктивного матеріалу для виготовлення основних деталей і вузлів проекрованої абсорбційної колони. Підбір здійснюємо, враховуючи значення температури та тиску, а також агресивність робочого середовища.

Для деталей колони, які контактують із забрудненим газом та насиченим абсорбентом вибираємо у якості матеріалу корозійно стійку сталь 12Х18Н10Т; матеріал опори – сталь ВСтЗсп; для усіх інших елементів – сталь Ст 3.

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

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

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

Технологічний розрахунок проводимо у відповідності з методикою, яка наведена у [10].

Знаючи об'ємну витрату газоповітряної суміші за нормальних умов, за рівнянням Клапейрона можна знайти її об'ємну витрату в робочих умовах:

$$V_{CM} = \frac{V_0}{3600} \cdot \frac{(t+273) \cdot P_0}{273 \cdot P}, \quad (2.1)$$

де  $P_0$  – атмосферний тиск.

$$V_{CM} = \frac{3800}{3600} \cdot \frac{(20 + 273) \cdot 1}{273 \cdot 8} = 0,13 \text{ м}^3/\text{с}$$

Далі визначаємо густину  $\text{H}_2\text{S}$  і повітря в робочих умовах:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\Gamma}^0 \cdot \frac{273 \cdot P}{(t+273) \cdot P_0}, \quad (2.2)$$

$$\rho_{\Gamma} = 1,51 \cdot \frac{273 \cdot 8}{(20 + 273) \cdot 1} = 12,17 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{ПОВ}} = \rho_{\text{ПОВ}}^0 \cdot \frac{273 \cdot P}{(t+273) \cdot P_0}, \quad (2.3)$$

$$\rho_{\text{ПОВ}} = 1,3 \cdot \frac{273 \cdot 8}{(20 + 273) \cdot 1} = 10,47 \text{ кг/м}^3$$

де  $\rho_{\Gamma}^0$  і  $\rho_{\text{ПОВ}}^0$  – густини  $\text{H}_2\text{S}$  і повітря за нормальних умов.

Масова та об'ємна витрата  $\text{H}_2\text{S}$  на вході в абсорбер:

$$G_{\Gamma} = \frac{V_{CM} \cdot C_{\gamma}}{1000} \quad (2.4)$$

$$G_{\Gamma} = \frac{0,13 \cdot 150}{1000} = 0,0195 \text{ кг/с}$$

										Лист
										18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

$$V_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} \quad (2.5)$$

$$V_{\Gamma} = \frac{0,0195}{12,17} = 0,0016 \text{ кг/с}$$

Мольна частка  $\text{H}_2\text{S}$  у вихідній газоповітряній суміші:

$$y_H = V_{\Gamma}/V_{CM}, \quad (2.6)$$

$$y_H = \frac{0,0016}{0,13} = 0,0123 \frac{\text{кмоль } \text{H}_2\text{S}}{\text{кмоль суміші}}$$

Густина газоповітряної суміші:

$$\rho_{CM} = y_H \cdot \rho_{\Gamma} + (1 - y_H) \cdot \rho_{\text{пов}} \quad (2.7)$$

$$\rho_{CM} = 0,0123 \cdot 12,17 + (1 - 0,0123) \cdot 10,47 = 10,5 \text{ кг/м}^3$$

Масові витрати вихідної газоповітряної суміші і повітря:

$$G_{CM} = V_{CM} \cdot \rho_{CM} \quad (2.8)$$

$$G_{CM} = 0,13 \cdot 10,49 = 1,36 \text{ кг/с}$$

$$G_{\text{пов}} = G_{CM} - G_{\Gamma} \quad (2.9)$$

$$G_{\text{пов}} = 1,36 - 0,0195 = 1,34 \text{ кг/с}$$

Відносні мольна і масова частки  $\text{H}_2\text{S}$  у вихідній газоповітряній суміші:

$$Y_H = \frac{y_H}{1 - y_H}, \quad (2.10)$$

$$Y_H = \frac{0,0123}{1 - 0,0123} = 0,013 \frac{\text{кмоль } \text{H}_2\text{S}}{\text{кмоль пов.}}$$

$$\bar{Y}_H = \frac{G_{\Gamma}}{G_{\text{пов}}} = Y_H \cdot \frac{M_{\Gamma}}{M_{\text{пов}}}, \quad (2.11)$$

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

$$\bar{Y}_H = \frac{0,0195}{1,34} = 0,013 \cdot \frac{34}{29} = 0,0152 \frac{\text{кг } H_2S}{\text{кг пов.}}$$

Масові витрати абсорбованого і не поглиненого  $H_2S$  в газоповітряній суміші на виході з абсорберу:

$$M = G_r \cdot C_n / 100, \quad (2.12)$$

$$M = 0,0192 \cdot \frac{94}{100} = 0,01833 \text{ кг/с}$$

$$G'_r = G_r - M = G_r \cdot \left(1 - \frac{C_n}{100}\right), \quad (2.13)$$

$$G'_r = 0,0195 \cdot (1 - 0,94) = 0,00117 \text{ кг/с}$$

Відносна масова частка  $H_2S$  у газоповітряній суміші на виході з абсорберу:

$$\bar{Y}_B = \frac{G'_r}{G_{\text{пов}}}, \quad (2.14)$$

$$\bar{Y}_B = \frac{0,00117}{1,34} = 0,00087 \frac{\text{кг } H_2S}{\text{кг пов.}}$$

Для побудування рівноважної і робочої ліній процесу абсорбції на  $\bar{Y} - \bar{X}$  діаграмі потрібно знайти рівноважну і робочу відносні масові частки  $H_2S$  у рідині на виході з абсорберу.

$$X_H^* = Y_H \cdot \frac{P}{E}, \quad (2.15)$$

$$X_H^* = 0,013 \cdot \frac{8,5}{428} = 0,000258 \frac{\text{кмоль } H_2S}{\text{кмоль води}} \quad (2.16)$$

де  $E$  – коефіцієнт Генрі, що залежить від температури, властивостей  $H_2S$  і абсорбенту.

Для розрахунків, попередньо приймаємо температуру рідини в нижній частині абсорбер  $t_n = t$ .

Рівноважна відносна масова частка  $H_2S$  в рідині на виході з абсорберу:

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



Рушійна сила процесу абсорбції виражається різницею між робочою і рівноважною відносними масовими концентраціями  $H_2S$  в газовій фазі (див. додаток А).

$$\overline{\Delta Y_{cp}} = \frac{\overline{\Delta Y_H} - \overline{\Delta Y_B}}{\ln(\overline{Y_H} / \overline{\Delta Y_B})}, \quad (2.20)$$

де  $\overline{\Delta Y_H}$  і  $\overline{\Delta Y_B}$  – рушійні сили процесу вниз і вгору абсорбера відповідно.

$$\overline{\Delta Y_H} = \overline{Y_H} - \overline{Y_H^*} = 0,0152 - 0,0133 = 0,0019 \frac{\text{кг } H_2S}{\text{кг пов.}};$$

$$\overline{\Delta Y_B} = \overline{Y_B} - \overline{Y_B^*} = 0,00087 - 0 = 0,00087 \frac{\text{кг } H_2S}{\text{кг пов.}};$$

$$\overline{\Delta Y_{cp}} = \frac{0,0019 - 0,00087}{\ln(0,0019/0,00087)} = \frac{0,00103}{0,78} = 0,00132 \frac{\text{кг } H_2S}{\text{кг пов.}}$$

Число одиниць переносу (ЧОП) показує на скільки одиниць змінюється концентрація  $H_2S$  у фазі в розрахунку на одиницю зміни рушійної сили.

Визначимо ЧОП для газової фази:

$$n_{oy} = \frac{\overline{Y_H} - \overline{Y_B}}{\overline{\Delta Y_{cp}}} \quad (2.21)$$

$$n_{oy} = \frac{0,0152 - 0,00087}{0,00132} = 10,85$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

Конструктивний розрахунок проводимо у відповідності з методикою, яка наведена у [11].

Визначаємо робочу швидкість газу для абсорберів, попередньо задавшись

$$w' = (0,75 \div 0,9) \cdot w_{гр} \quad (2.22)$$

										Лист
										22
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

де  $w_{гр}$  – швидкість газу при захлинанні.

Швидкість газу при захлинанні в тарілчастій колоні:

$$w_{гр} = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_p - \rho_{см}}{\rho_{см}}} \approx C \cdot \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_{см}}}, \quad (2.23)$$

де  $C$  – коефіцієнт, який залежить від міжтарілчастої відстані. За [10] при  $H_T = 0,5$  м  $C = 0,06$ .

$$w_{гр} = 0,06 \cdot \sqrt{\frac{995}{10,5}} = 0,584 \text{ м/с}$$

Таким чином, робоча швидкість газу для абсорберів:

$$w' = 0,9 \cdot 0,584 = 0,53 \text{ м/с}$$

На підставі рівняння об'ємної витрати газу за робочих умов розраховуємо діаметр абсорбційної колони:

$$D' = \sqrt{\frac{V_{см}}{0,785 \cdot w'}} = \sqrt{\frac{0,13}{0,785 \cdot 0,53}} = 0,56 \text{ м}$$

За розрахованим значенням вибираємо стандартизований апарат  $D = 0,6$  м.

Відповідно до прийнятого діаметра, уточнюємо робочу швидкість газу:

$$w = \frac{V_{см}}{0,785 \cdot D^2} \quad (2.24)$$

$$w = \frac{0,13}{0,785 \cdot 0,6^2} = 0,46 \text{ м/с}$$

За табл. 8.6 [11] вибираємо ковпачкову тарілку типу ТСК-1 (рис. 7), яка має наступну технічну характеристику:

- робоча площа тарілки  $F_p = 0,215 \text{ м}^2$ ;
- площа проходу парів  $F_0 = 0,027 \text{ м}^2$ ;

									Лист
									23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

- площа зливу  $F_{зл} = 0,012 \text{ м}^2$ ;
- периметр зливу  $\Pi = 0,480 \text{ м}$ ;
- довжина шляху рідини  $l_p = 0,37 \text{ м}$ ;
- кількість ковпачків на тарілці  $m = 13$ ;
- діаметр ковпачка  $d = 80 \text{ мм}$ .

Для нашої тарілчастої абсорбційної колони число теоретичних тарілок визначаємо графічним методом – шляхом побудови ступенів між робочою і рівноважною лініями. Саме отримана кількість ступенів і відповідає числу теоретичних тарілок. Таким чином,  $N_T = 10$ .

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою середнього к.к.д. ковпачкової тарілки [12]:

$$N_d = N_T / \eta; \quad (2.25)$$

де  $\eta$  – к.к.д. ковпачкової тарілки.

За рекомендацією [12] для ковпачкових тарілок приймаємо  $\eta = 0,8$ .

Число дійсних тарілок складе:

– у верхній частині колони

$$N_d = 10 / 0,8 \approx 13 \text{ шт.}$$

Висота тарілчастої частини абсорбера залежить від числа дійсних тарілок  $N_d$  і прийнятої відстані між ними:

$$H_T = (N_d - 1) \cdot H, \quad (2.26)$$

де  $N_d = 13$  – загальна кількість тарілок;

$H = 500 \text{ мм}$  – відстань між тарілками.

$$H_T = (13 - 1) \cdot 500 = 6000 \text{ мм.}$$

					<b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24



На підставі практичних даних [12] відстань між верхньою кришкою колони і її верхньою масообмінною тарілкою приймається 600 мм, а відстань між нижнім днищем та нижньою масообмінною тарілкою – 900 мм.

Таким чином, загальна висота колони складе 7500 мм (без урахування висоти опори).

**Визначення діаметра патрубків.** Діаметр патрубка визначається за формулою [13]:

$$d = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}, \quad (2.27)$$

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

Швидкість газу в трубопроводах приймається в межах 10–15 м/с, а швидкість рідини 0,5–2,5 м/с [13].

Діаметри патрубків для входу і виходу газоповітряної суміші:

$$d_r = \sqrt{\frac{0,13}{0,785 \cdot 10}} = 0,129 \text{ м}$$

Приймаємо діаметри патрубків  $d_r = 150$  мм.

Діаметри патрубків для входу і виходу абсорбенту:

$$d_B = \sqrt{\frac{0,021}{0,785 \cdot 2}} = 0,115 \text{ м}$$

Приймаємо діаметри патрубків  $d_B = 125$  мм.

### 2.3 Гідравлічний опір апарата

Гідравлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [11].

Відстань між тарілками  $H_T = 0,5$  м.

										Лист
										25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Визначаємо навантаження за газом і навантаження за рідиною тарілки:

$$G_g = 1,36 \text{ кг/с};$$

$$G_p = 41,7 \text{ кг/с}.$$

За даними табл. 8.6 [11] вибираємо тарілку типу ТСК-1 для колони діаметром  $D = 600$  мм. Ця тарілка має наступні параметри: робоча площа тарілки  $F_p = 0,125 \text{ м}^2$ ; площа проходу парів  $F_0 = 0,027 \text{ м}^2$ ; площа зливу  $F_{зл} = 0,12 \text{ м}^2$ ; периметр зливу  $\Pi = 0,480$  м; довжина шляху рідини по тарілці  $l_p = 0,37$  м; кількість ковпачків на тарілці  $m = 13$ ; діаметр ковпачка  $d_k = 80$  мм.

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

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

$$h_{зл} = 0,068 \cdot \left(\frac{V_p}{\Pi}\right)^{0,67}, \quad (2.28)$$

$$\text{де } V_p = \frac{G_p}{\rho_p} = \frac{41,7}{995} = 0,042 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$h_{зл} = 0,068 \cdot \left(\frac{0,042}{0,480}\right)^{0,67} = 0,013 \text{ м}.$$

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

$$h_{пр} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_z}{m \cdot z \cdot b}\right)^2 \cdot \frac{\rho_z}{\rho_p - \rho_z}}. \quad (2.29)$$

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

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

$$h_{np} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,13}{13 \cdot 20 \cdot 0,004}\right)^2 \cdot \frac{10,5}{995 - 10,5}} = 0,025 \text{ м.}$$

Приймаємо за табл. 8.4 [11] висоту прорізу  $h_{np} = 25$  мм.

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

Глибина барботажу при робочому тиску складе:

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{\rho_p}\right) \cdot P^{0,35}; \quad (2.30)$$

$$h_{z.б.} = \left(\frac{0,7}{995}\right) \cdot (0,8 \cdot 10^6)^{0,35} = 0,08 \text{ м.}$$

Знаходимо висоту зливного порогу за рівнянням:

$$h_{nop} = h_{z.б.} - h_{zl} + h_{np} + h_y; \quad (2.31)$$

$$h_{nop} = 0,08 - 0,013 + 0,025 + 0,01 = 0,102 \text{ м.}$$

Висота піни, що утворюється на тарілці, складе:

$$h_{nn} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} \cdot (k_3 \cdot w^2 \cdot \rho_n + k_4 \cdot h_{zl} + h_{nop}), \quad (2.32)$$

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

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

Значення коефіцієнтів, що входять в рівняння  $k_2, k_3, k_4$  визначаємо за табл. 8.3 [11] у залежності від типу тарілки. Для ковпачкової тарілки  $k_2 = 0,23$ ,  $k_3 = 4,4 \cdot 10^{-2}$ ,  $k_4 = 4,6$ .

$$h_{nn} = \frac{0,23}{0,02^{0,33}} \cdot (4,4 \cdot 10^{-2} \cdot 0,46^2 \cdot 10,5 + 4,6 \cdot 0,013 + 0,102) = 0,217 \text{ м.}$$

Величина відносного унесення рідини:

$$Y = \frac{k_1}{\sigma} \cdot \left( \frac{w'}{H_T - h_{nn}} \right)^{n_1}. \quad (2.33)$$

Значення коефіцієнта  $k_1$  і показника ступеня  $n_1$  визначаємо за табл. 8.3 [11] у залежності від типу тарілки. Для ковпачкової тарілки  $k_1 = 23 \cdot 10^{-5}$ ,  $n_1 = 1,16$ .

$$Y = \frac{23 \cdot 10^{-5}}{0,02} \cdot \left( \frac{0,46}{0,5 - 0,217} \right)^{1,16} = 0,02 < 0,1.$$

Отже, відстань між тарілками вибрано правильно.

Дійсне навантаження зливного пристрою за рідиною:

$$V_{p.d.} = V_p + \frac{G_z \cdot Y}{\rho_p}; \quad (2.34)$$

$$V_{p.d.} = 0,042 + \frac{0,13 \cdot 0,02}{995} \approx 0,042 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Отримана величина не відрізняється від раніше розрахованої.

Перевіримо працездатність зливного пристрою тарілки за умовою:

$$w_{p.z.} = \frac{V_{p.d.}}{P \cdot a} < 0,45. \quad (2.35)$$

Для тарілок типу ТСК-1 зазор під зливним стаканом  $a = 0,35 \text{ м}$  [11].

					ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ	Лист
						28
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



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

$$\Delta h = 0,1 \cdot 16 \cdot 0,37 \cdot \frac{0,37 \cdot 0,042^2}{0,480^2 \cdot (0,102 + 0,013)^3 \cdot 9,81} = 0,112 \text{ м.}$$

Опору шару рідини на тарілці розраховуємо за рівнянням:

$$\Delta P_p = (h_{\text{с.б.}} + \frac{h_{np} + \Delta h}{2}) \cdot \rho_p \cdot g; \quad (2.40)$$

$$\Delta P_p = (0,08 + \frac{0,025 + 0,112}{2}) \cdot 995 \cdot 9,81 = 1450 \text{ Па.}$$

Загальний опір тарілки дорівнює:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_p; \quad (2.41)$$

$$\Delta P = 361 + 1450 = 1811 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір колони:

$$\Delta P_K = N_T \cdot \Delta P; \quad (2.42)$$

$$\Delta P_K = 13 \cdot 1811 = 23543 \text{ Па.}$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

**Вибір насосів Н<sub>1</sub> і Н<sub>2</sub> для подачі абсорбенту в колону [12].**

Розрахунок і вибір насосів проводимо за необхідними напором і витратою  $V = 0,042 \text{ м}^3/\text{с}$ . На технологічній схемі (див. рис. 1.1) подача води у верхню частину абсорбера забезпечується двома, паралельно встановленими, насосами. У такому випадку продуктивність одного насосу становить:  $V = 0,021 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Напір розраховують за формулою:

					<b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b>	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + H_r + h_n, \quad (2.43)$$

де  $p_1 = 0,1$  МПа – тиск в апараті, із якого перекачується рідина;

$p_2 = 0,8$  МПа – тиск в абсорбері;

$\rho = 995$  кг/м<sup>3</sup> – густина абсорбенту;

$H_r = 7,5$  м – геометрична висота підйому рідини;

$h_n$  – сумарні втрати напору у всмоктувальній і нагнітальній лініях.

Прийmemo сумарні втрати напору у всмоктувальній і нагнітальній лініях рівними  $h_n = 5$  м.

Тоді:

$$H = \frac{(0,8 - 0,1) \cdot 10^6}{995 \cdot 9,81} + 7,5 + 5 = 84,2 \text{ м.}$$

Такий напір при заданій продуктивності може забезпечити відцентровий насос марки НМШ 8-160/88-15.

**Вибір турбокомпресорів К1 і К2 [12, 13].** Відповідно до технологічної схеми (рис. 1.1) використовується 2 компресорних агрегати.

Для розрахунку компресора необхідно визначити величину об'ємної витрати вуглеводнів  $Q$  (л/хв):

$$Q = \frac{G_2}{\rho_2}; \quad (2.44)$$

$$Q = \frac{1,36}{2 \cdot 10,5} = 0,065 \text{ м}^3/\text{с} = 3900 \text{ л/хв.}$$

Широко поширеною помилкою на практиці є неправильне розуміння величини продуктивності компресора. У каталогах будь-яких фірм-виробників компресорів під цією величиною розуміється максимальне споживання повітря на вході компресора, тобто, цю величину можна застосовувати як продуктивність компресора на виході, оскільки вона не враховує його ККД і конструктивні особливості.

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





### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки обичайки апарата

Розрахунок товщини циліндричної обичайки виконуємо за методикою [15]. Сірководень є корозійно-активною речовиною. Таким чином, проєктований абсорбер контактує з агресивним середовищем. Саме тому, у якості конструкційного матеріалу для виготовлення основних деталей апарата застосована сталь 12Х18Н10Т.

Робоча температура середовища 20°C. Робочий тиск в абсорбері 0,8 МПа.

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском  $P > 0,07$  МПа відповідно до рекомендацій наведених у [15] складе:

$$P_p = 1,1 \cdot p = 1,1 \cdot 0,8 = 0,88 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Пробний тиск при гідравлічному випробуванні згідно [15] складе:

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

де  $[\sigma]_{20}, [\sigma]$  – допустиме напруження для матеріалу корпусу при розрахунковій температурі і температурі 20°C, згідно [15]:

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

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,88 \cdot 160 / 160 \\ 0,88 + 0,3 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,32 \\ 1,18 \end{array} \right\} = 1,32 \text{ МПа.}$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу, згідно [15]:

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

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [15], складе:  $\varphi = 0,9$ .

						Лист
						33
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

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

$$S_k = \frac{1,32 \cdot 0,6}{2 \cdot 160 \cdot 0,9 - 1,32} = 0,0028 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки:

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

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

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

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

$$C_1 = \Pi \cdot \tau = 0,1 \cdot 10 = 1,0 \text{ мм}; \quad (3.6)$$

$C_2$  – прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;  
 $C_3$  – технологічна прибавка, яка враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

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

$$C = 1,0 + 0 + 0 = 1,0 \text{ мм.}$$

$$S = 0,0028 + 0,001 = 0,0038 \text{ м.}$$

Приймаємо  $S = 0,004 \text{ м} = 4 \text{ мм.}$

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

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\phi_p(s-c)}{D+(s-c)}; \quad (3.7)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 160 \cdot 0,9 \cdot (0,004 - 0,001)}{0,6 + (0,004 - 0,001)} = 1,43 \text{ МПа}$$

Умова міцності має вигляд:

$$P < [P]: 0,88 \text{ МПа} < 1,43 \text{ МПа}.$$

Умова міцності виконується.

### 3.2 Визначення товщини стінки кришки і днища апарата

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

$$S_R = \frac{P_{np} R}{2[\sigma] \cdot \phi - 0,5 P_{np}}, \quad (3.8)$$

де R – радіус кривизни в вершині днища; для еліптичних днищ R = D.

$$S_R = \frac{1,32 \cdot 0,6}{2 \cdot 160 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 1,32} = 0,0027 \text{ м}.$$

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

$$C = 1,0 + 0 + 0 = 1,0 \text{ мм}.$$

$$S = 0,0027 + 0,001 = 0,0037 \text{ м}.$$

Приймаємо S=0,004 м = 4 мм.

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



Виходячи із заданих параметрів вибираємо опору третього типу.

Маса обичайки:

$$m_{об} = 0,785(D_H^2 - D_{BH}^2)H_{об}\rho, \quad (3.10)$$

де  $D_H = 0,608$  м – зовнішній діаметр колони;

$D_{BH} = 0,6$  м – внутрішній діаметр колони;

$H_{об} = 7,5$  м – висота циліндричної частини колони;

$\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup> – щільність сталі.

$$m_{об} = 0,785 (0,608^2 - 0,6^2)7,5 \cdot 7850 = 447 \text{ кг}$$

Приймаємо масу допоміжних пристроїв (штуцерів, вимірювальних приладів, люків тощо) становить 10 % від основної маси колони, тоді:

$$\begin{aligned} m_k &= m_{\min} = 1,1(m_{об} + m_r + 2m_d) = \\ &= 1,1(447 + 21,3 \cdot 13 + 2 \cdot 28,3) = 858,6 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Маса води при гідравлічних випробуваннях:

$$m_b = 1000(0,785D^2H_{ц.об} + 2V_d) = 1000 (0,785 \cdot 0,6^2 \cdot 7,5 + 2 \cdot 0,0352) = 2190 \text{ кг}$$

Максимальна маса колони:

$$m_{\max} = m_k + m_b = 858,6 + 2190 = 4119 \text{ кг} = 3048,6 \text{ кг.}$$

Максимально можливе навантаження приймаємо за навантаження при гідравлічних випробуваннях:

$$Q_{\max} = 0,030 \text{ МН}$$

На підставі розрахованих даних визначаємо основні розміри циліндричної опор третього типу для абсорбера (див. табл. 3.1).

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

Таблиця 3.1 – Основні розміри циліндричної опори за ОСТ 26-467-78

$Q_{\max}$	$Q_{\min}$	D	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$d_2$	$d_B$	Число болтів $Z_B$
0,25	до 0,125	600	6	20	12	28	M24	6









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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 5 Охорона праці

**Фактори, що визначають наслідки ураження електричним струмом людини. Види уражень.**

Фактори, які впливають на характер та наслідки уражень електричним струмом, надзвичайно різноманітні. Їх можна поділити на три групи:

- фактори електричного характеру (напруга і струм, який проходить через людину, вид і частота струму, опір людини електричному струму);
- фактори неелектричного характеру (особливі властивості людини, фактор уваги, тривалість дії струму, шлях струму через людину);
- фактори оточуючого середовища.

**Фактори електричного характеру.** Струм, який проходить через людину, є головним ушкоджуючим фактором при електротравмі. При цьому ступінь негативного впливу на організм людини збільшується із зростанням струму. За характером дії струм оцінюють так, як наведено в табл. 5.1 [18].

Таблиця 5.1 – Характер впливу електричного струму на організм людини

Струм, мА	Характер дії	
	Змінний струм	Постійний струм
0,6–1,5	Початок відчуття, легке тремтіння пальців рук.	Не відчувається.
2–3	Сильне тремтіння пальців рук.	Не відчувається.
5–7	Судороги в руках.	Свербіння. Відчуття нагріву.
8–10	Руки з зусиллям, але ще можна відірвати від електродів, сильний біль у пальцях і кистях рук.	Підсилений нагрів.
20–25	Параліч рук, відірвати їх від електрода неможливо. Дуже сильний біль. Дихання затруднене.	Надто сильний нагрів. Незначне скорочення м'язів рук.
50–80	Зупинка дихання. Початок фібриляції.	Скорочення м'язів. Судороги, затруднене дихання.

На підставі даних, що наведені в табл. 5.1, можна виокремити декілька характерних видів струму.





шкіри та інтенсивніше потовиділення у місцях контакту, що теж зменшує електричний опір шкіри.

Найбільший електричний опір має верхній роговий шар шкіри, який не містить кровоносних судин. Оскільки опір тіла людини електричному струму є нелінійним та нестабільним, і тому вести розрахунки з такими опорами важко, домовились вважати, що опір тіла людини є стабільним, лінійним, активним і становить 1000 Ом.

**Фактори неелектричного характеру.** Зростання тривалості протікання струму через людину збільшує тяжкість ураження за таких обставин: із зростанням часу протікання струму опір тіла зменшується (за рахунок зволоження шкіри від поту), струм підвищується, з часом вичерпуються захисні сили організму, які протистоять дії електричного струму.

Напрямок струму через людину суттєво впливає на наслідок ураження. Небезпечність ураження особливо велика, якщо струм, який проходить через життєво важливі органи – серце, легені, головний мозок впливає безпосередньо на усі органи. Якщо струм не проходить через ці органи, то його дія на них є тільки рефлекторною і ймовірність ураження зменшується. Шляхи струму по тілу людини називають “петлями” струму. Найчастіше зустрічається петля «права рука – ноги». До випадків з тяжкими та смертельними наслідками призводять наступні петлі струму: «рука – рука» (40 % випадків), «права рука – ноги» (20 % випадків); «ліва рука – ноги» (17 % випадків). Найбільш небезпечні петлі струму – це «голова – руки», «голова – ноги», «рука – рука», а найнебезпечніший шлях – «нога – нога».

Індивідуальні особливості людини значно впливають на тяжкість ураження при електротравмах, наприклад, струм, що є невідпускаючим для одних людей, може бути пороговим для інших. Характер дії струму одних і тих самих параметрів залежить від маси людини і її фізичного розвитку. Для жінок порогові значення струму приблизно у 1,5 рази нижче, ніж для чоловіків. Ступінь впливу струму залежить від стану нервової системи, депресії, хвороби (особливо захворювань шкіри, серцево-судинної і нервової систем тощо). Крім того, помічено, що сп’яніла людина значно чутливіша до протікаючого струму. Важливу роль

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

відіграє і фактор уваги. Якщо людина підготовлена до електричного удару, то ступінь небезпеки різко зменшується, у той час як несподіваний удар призводить до набагато тяжчих наслідків.

**Фактори оточуючого середовища.** Стан навколишнього повітряного середовища, а також навколишнє оточення можуть істотним чином впливати на безпеку ураження струмом.

Вологість, струмопровідний пил, їдкі пари та газы, руйнуюче діючі на ізоляцію електроустановок, а також висока температура оточуючого повітря, що знижує електричний опір тіла людини (підвищення потовідділення) – все це приводить до збільшення небезпеки ураження людини струмом.

Дію струму на людину підсилюють також струмопровідні підлоги і близько розташовані до електроустаткування металеві конструкції, що мають зв'язок із землею, оскільки у разі одночасного дотику до цих предметів і корпусу електроустаткування, що випадково виявиться під напругою, через людину пройде струм великої сили.

Несприятливий вплив факторів оточуючого середовища на небезпечність ураження електричним струмом знайшов своє відображення в нормативних матеріалах. Виробничі приміщення за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом відповідно до ПУЕ-86 «Правила улаштування електроустановок» і ГОСТ 12.1.013-78 поділяють на три категорії.

1. Приміщення без підвищеної небезпеки характеризуються нормальною вологістю та відсутністю пилу, наявністю неструмопровідної (ізольованої) підлоги. В них відсутні ознаки двох інших класів. У більшості випадків до приміщень без підвищеної небезпеки відносять кабінети, зали, ЕОЦ, лабораторії, приладні ділянки машинобудівних заводів.

2. Приміщення з підвищеною небезпекою має одну з наступних ознак:

- підвищена температура (температура повітря тривалий час перевищує 35°C або короткочасно перевищує 40 °C незалежно від пори року і різноманітних теплових випромінювань);

- підвищена (більше 75 %) відносна вологість повітря;



- наявність струмопровідного пилю (металевий, вугільний тощо) на обладнанні та провіднику;
- струмопровідна підлога (металева, земляна, залізобетонна, цегляна тощо);
- можливість одночасного доторкання людини до металоконструкції будівлі, яка не має сполучення з землею, та технологічного апарату або механізмів, з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання – з другого. До цієї групи приміщень відносять складські неопалювані приміщення, механічні цехи та ділянки з нормальною температурою, вологістю, без виділення пилю, але зі струмопровідною підлогою.

3. Приміщення особливо небезпечні, які характеризують наявністю однієї з наступних ознак:

- особлива сирість (відносна вологість повітря близька до 100 %, стеля, стіни, підлога та предмети в приміщенні покриті вологою);
- хімічно активне середовище (приміщення, в яких постійно або тривало знаходяться пари або утворюються відкладення, що діють руйнівно на ізоляцію та струмопровідні частини електрообладнання);
- одночасна наявність двох або більше умов підвищеної небезпеки.

Внутрішні або зовнішні електроустановки, які експлуатуються на відкритому повітрі або під навісом прирівнюються до електроустановок в особливо небезпечних приміщеннях.

Види робіт за ступенем електробезпечності поділяються за тими ж ознаками на роботу без підвищеної небезпеки, підвищеної небезпеки та особливо небезпечну.

Клас приміщень за небезпечністю ураження струмом враховують при виборі допустимої напруги переносних світильників, яка в приміщенні без підвищеної небезпеки становить 42 В, з підвищеною небезпекою – 24 В, в особливо небезпечних – 12 В [18].

Дія електричного струму на організм людини має декілька особливостей:

- несподіваність ураження, яка пов'язана із відсутністю у людини органів чуття (рецепторів), за допомогою яких можна виявити напругу на відстані;

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

- можливість дистанційної дії, що проявляється в ураженні людини через електричну дугу, або крокову напругу;

- рефлекторна дія через центральну нервову систему, яка призводить до порушення роботи серця і легенів.

Електричний струм, проходячи через організм людини спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дію.

*Термічна дія струму* полягає в нагріванні тканини, випаровуванні вологи із неї, що викликає опіки, обвуглювання тканин та їх розриви паровою. Тяжкість термічної дії струму залежить від величини струму, опору його проходженню та часу проходження.

*Електролітична дія струму* проявляється в електролізі крові та плазми, що призводить до зміни їхніх фізико-хімічних та біохімічних властивостей.

*Біологічна дія струму* проявляється у подразненні і збудженні тканин організму. Збудження тканин внаслідок прямої (контактної) дії струму може проявлятися у вигляді мимовільного, непередбачуваного скорочення м'язів. Непряма дія струму (рефлекторна) відбувається через центральну нервову систему, до якої надходять імпульси від збуджених під дією електричного струму рецепторів. Центральна нервова система опрацьовує інформацію і надсилає відповідні імпульси до систем організму щодо нормалізації процесів життєдіяльності у відповідних тканинах та органах. Якщо кількість імпульсів, що надходить від збуджених рецепторів занадто велика настає перевантаження інформацією центральної нервової системи внаслідок чого вона може видавати недоцільну команду, що може призвести до серйозних порушень діяльності серця та легенів, навіть якщо ці органи і не знаходяться на шляху проходження струму.

Ураження електричним струмом поділяються на місцеві – *електричні травми* та загальні – *електричні удари* (див. рис. 5.1).

*Електричні травми* – це місцеві ураження, серед яких розрізняють: електричні опіки, електричні знаки, електрометалізація шкіри, електрофтальмія, механічні пошкодження.

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



Рисунок 5.1 – Види уражень електричним струмом

*Електричний опік* в залежності від умов виникнення може бути контактним і дуговим. Контактні струмові опіки мають місце в електроустановках напругою до 1000 В, вони виникають в місцях контакту людини із струмоведучими неізолюваними елементами електроустановок. В місцях контакту виділяється значна кількість тепла за рахунок великої густини струму та підвищеного опору, який створює шкіра людини. Тяжкість ураження за таких умов залежить від величини струму, часу його дії та опору людини. Дугові опіки мають місце в установках, напругою більше 1000 В і, як правило, більш тяжкі (III або IV ступеня). В електроустановках напругою 6...10 кВ дугові опіки є результатом випадкових коротких замикань при виконанні робіт в електроустановках. Електрична дуга виникає між елементами електроустановки, тому струм через тіло людини в даному випадку не проходить і небезпека обумовлюється тепловою дією струму. При значеннях напруги більше 10 кВ електрична дуга виникає між струмоведучими елементами.





*Електричний шок* – особлива нервово-рефлекторна реакція організму у відповідь на сильне подразнення струмом, супроводжується небезпечним розладом обміну речовин, кровообігу тощо. Зовнішні прояви – біль, збудження, крик, страх. Може бути зупинка серця через декілька годин, днів – так звана “запізнїла смерть” [20].

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



11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Л. : Машиностроение, 1982. – 384 с.
12. 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.
13. Основные процессы и аппараты химической технологии : Пособие по проектированию / Под ред. Дытнерского Ю. И. – М. : Химия, 1983. – 272 с.
14. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.
15. 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.
16. Ермаков В. И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В. И. Ермаков, В. С. Шейн. – Л. : Химия, 1981. – 368 с.
17. 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.
18. Соціальна та екологічна безпека життєдіяльності. Тема 12 – Електробезпека. Вплив електричного струму на людину [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.dut.edu.ua/uploads/1\\_1333\\_72282325.pdf](http://www.dut.edu.ua/uploads/1_1333_72282325.pdf).
19. Фактори, які впливають на наслідок ураження електричним струмом [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://studies.in.ua/ru/bjd-capko/808-413-faktori-yak-vplivayut-na-naslodok-urazhennya-elektrichnim-strumom.html>.
20. Дія електричного струму на організм людини [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://spo.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/1060.html>.