

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 ви-  
робництв"

Тема роботи: Абсорбційна установка у виробництві соляної кисло-  
ти. Розробити насадкову абсорбційну колону.

Виконав:  
студент групи \_\_\_\_\_

Скотар А. П. \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ підпис

Залікова книжка

№18510242

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

" " \_\_\_\_\_ 20 р.

Керівник:

Скиданенко М.С.

\_\_\_\_\_ підпис, дата

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

# 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 4 Група ХМ-61 Семестр 4

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студентки Скотар Ангеліні Павлівні

1 Тема проекту: Абсорбційна установка у виробництві соляної кислоти. Розробити насадкову абсорбційну колону.

2 Вихідні дані: Провести технологічний розрахунок абсорбційної насадочної колони з кільцями Рашига 35×35×4. В колоні з газоповітряної суміші поглинається водою HCl при температурі  $t=18\text{ }^{\circ}\text{C}$  і тиску  $P=1.8\text{ атм}$ . Витрата гахової суміші  $V_0=6500\text{ м}^3/\text{с}$ . початковий вміст компонента газової суміші, що поглинається  $C_y=165\text{ г/м}^3$ , ступінь поглинення газу в апараті  $C_0=92\%$ . Концентрація поглиненого компонента в колоні рідини, що виходить 92% від рівноважної.

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

1. Технологічна схема установки	1	арк.
2. Складальне креслення апарату	1	арк.
3. Креслення деталей і вузлів апарату	3	арк.

4 Рекомендована література: Дитнерский Ю. І. Основні процеси і апарати хімічної технології. Посібник з проектування. Москва, Хімія, 1983, 272 с.

Плановський А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процеси і апарати хімічної технології. Москва, Хімія, 1968, 848 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 \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

підпис \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 сторінок, 16 рисунків, 3 додатки, 18 джерел.

Графічні матеріали: складальне креслення апарату, технологічна схема, креслення розподільної, перерозподільної тарілок, опори - всього 3,5 листів формату А1.

Тема роботи: " Абсорбційна установка у виробництві соляної кислоти. Розробити насадкову абсорбційну колону".

Приведений опис технологічної схеми абсорбції, теоретичні основи і особливості процесу абсорбції, виконані конструктивні розрахунки апарату, визначені його розміри, проведені розрахунки апарату на міцність, обґрунтований вибір матеріалу для виготовлення апарату, розраховано товщини стінки і кришки, фланцевого з'єднання, обґрунтовано вибір опори.

Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи спроектованого апарату. Ключові слова: АПАРАТ, ХЛОРИСТИЙ ВОДЕНЬ, АБСОРБЕР, НАСАДКА, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, РОЗРАХУНОК.

## ЗМІСТ

Вступ	5
1. Технологічна частина	6
1.1. Опис технологічної схеми виробництва	8
1.2. Теоретичні основи процесу	7
1.3. Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів	14
2. Технологічні розрахунки процесу і апарата	18
2.1. Матеріальний та тепловий баланси процесу	18
2.2. Технологічні розрахунки	23
2.3. Конструктивні розрахунки	27
2.4. Гідравлічний опір апарата	33
2.5. Вибір допоміжного обладнання	34
3. Розрахунки апарата на міцність та герметичність	37
3.1. Визначення товщини стінки апарата, кришки	37
3.2. Розрахунок фланцевого з'єднання	39
3.3. Розрахунок опори апарата	39
4. Монтаж та ремонт апарата	47
4.1. Монтаж розробленого апарата	47
4.2. Ремонт апарата	49
5. Охорона праці	52
Список літератури	
Додаток А (Таблиця 1 – Розрахункові дані для побудови рівноважної лінії, розрахунки, виконані в програмі )	
Додаток Б – Специфікації	

					<b>ПОХНВ 00.00.00 ПЗ</b>					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<b>Пояснювальна записка</b>					
Разраб.	Скотар							Лит.	Лист	Листов
Провер.	Скиланенко							4	50	
Реценз								<b>СумДУ, гр.ХМ-61</b>		
Н. Контр.										
Утверд.										

## ВСТУП

З прискоренням науково-технічного прогресу також безперервно зростає значення хімічної промисловості в житті людства. Особливу роль тут відіграють фізико-хімічні процеси - масообмін і теплообмін. Отримання тих чи інших продуктів хімічної промисловості пов'язано з проведенням процесів абсорбції, ректифікації. Перед даними процесами стоять широкі перспективи, особливо перед абсорбцією. Абсорбція - один з ефективних методів очищення газів. Особливо це актуально в наш час, коли екологічне становище на планеті стає все гірше. Впровадження абсорбції в усі галузі народного господарства, як метод очищення газів викликає поліпшення екологічного становища. Отримання таких речовин як ацетон, аміак та інших органічних сполук йде з застосуванням процесу абсорбції. Перед останнім відкриваються великі можливості поліпшення інтенсифікації процесу.

Абсорбція є основною технологічною стадією на ряду таких найважливіших виробництв: абсорбція  $SO_3$  у виробництві сірчаної кислоти, абсорбція  $HCl$  з отриманням соляної кислоти, абсорбція  $NH_3$ , парів  $C_6H_6$ ,  $H_2S$  і інших компонентів з коксового газу і т.д.

Для реалізації цього процесу потрібні глибокі знання техніки і технології, методик розрахунку технологічного процесу і устаткування. Определяющая роль в цьому належить курсу "Процеси і апарати хімічної технології", який базується на фундаментальних законах природних наук і складає теоретичну базу хімічної технології. Курсовий проект є завершальним етапом вивчення предмета. В період роботи над курсовим проектом учень набув навичок самостійної роботи по виконанню розрахунків хімічної апаратури і графічному оформленню об'єктів проектування, познайомився з тією, що діє нормативно - технологічною документацією, довідковою літературою, набув навичок вибору апаратури і техніко-економічних обґрунтувань.

					<i>ПОХНВ. А, 00. 00. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

# 1. Технологічна частина

## 1.1. Опис технологічної схеми виробництва

Абсорбція хлористого водню водою являє собою гетерогенний оборотний екзотермічний процес утворення гідратів хлористого водню і їх розчинення у воді.



Хлор з буферної ємності 1, де від нього відділяється сірчана кислота, що захоплюється хлором з сушильної камери, і водень через огневзривопреградитель 2 подають в пальник печі 3 в співвідношенні, що забезпечує надлишок водню. Виходить з печі газ охолоджується в газовому холодильнику 4, зрошуваному водою і розділяється на два потоки.

Без відводу теплоти з системи отримати при абсорбції соляну кислоту концентрацією вище азеотропа (20,2%) неможливо. Для отримання кислоти більш високої концентрації надлишкова теплота абсорбції повинна відводитися з системи. Це може бути досягнуто:

- відводити тепла в навколишнє середовище (ізотермічна абсорбція);
- проведення процесу в адіабатичних умовах, коли теплота використовується всередині системи для випаровування води і збільшення концентрації кислоти (адіабатична абсорбція).

Один потік (лінія соляної кислоти) надходить в абсорбційну колону 5, орошамую водою. Температура абсорбції становить 80 - 85<sup>0</sup>С і регулюється випаровуванням води, яка подається в колону. Продукційною соляну кислоту збирають у збірнику 6, а не поглинені гази, що містять хлористий водень, водень, азот і пари води, направляють в санітарну вежу 7, орошамую водою, після чого викидають через ежектор 8 в атмосферу. Другий потік газу (лінія рідкого хлористого водню) додатково охолоджується в розсільна холодильнику з танталу або графіту 9 і направляється на осушку в вежу 10, орошамую концентрованої сірчаної кислотою. Сухий хлористий водень проходить через конденсатор 11, стискається компресором 12 до тиску 10 МПа і надходить у збірник рідкого продукту 13, звідки розливається в балони або танки.

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

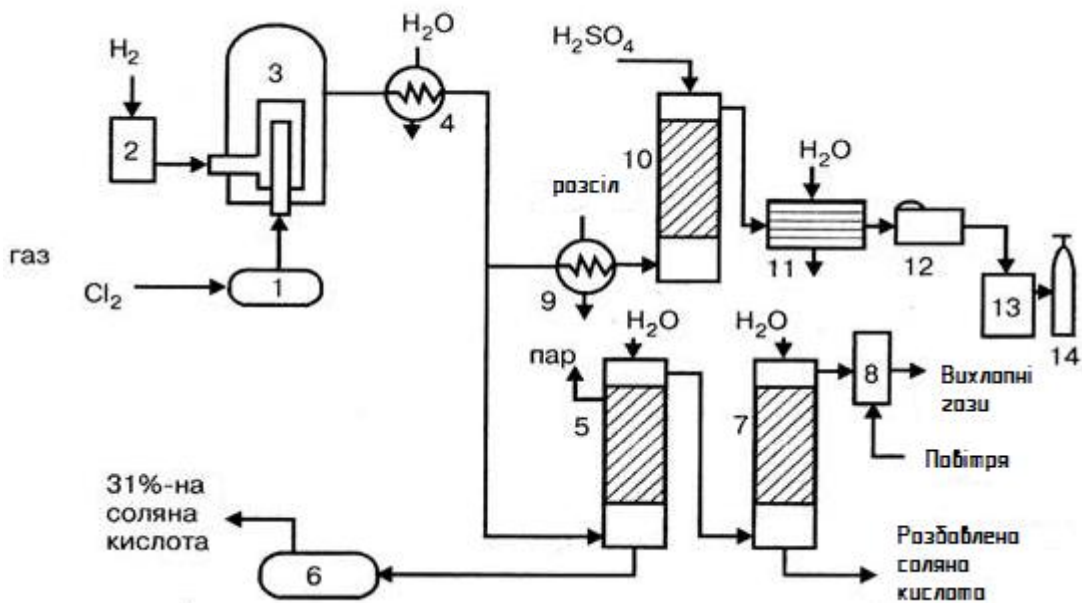


Рис.1 – технологічна схема виробництва соляної кислоти і хлористого водню методом адіабатичної абсорбції

1 – буферна ємність, 2 – вогневибухозапобіжник, 3 – піч, 4 – газовий холодильник, 5 – абсорційна колона, 6 – сбірник кислоти, 7 – санітарна вежа, 8 – ежектор, 9 – розсільний холодильник, 10 – сушильна вежа, 11 – конденсатор, 12 – компресор, 13 – сбірник СНІ, 14 – балон (танк).

Основним апаратом у виробництві хлористого водню і соляної кислоти є піч синтезу (згорання). Вона складається з сталевого корпусу, футерованого вогнетривом, запобіжної мембрани, що руйнується при високому тиску, і пальника. Пальник виконана у вигляді двох концентрично розташованих труб, по внутрішньої з яких вводиться хлор, а по кільцевому простору - водень. Така конструкція забезпечує гарне змішування компонентів і зводить до мінімуму можливість вибуху.

Висока корозійна активність соляної кислоти і вологість хлористого водню висуває підвищені вимоги до конструкційних матеріалів апаратури. Для її виготовлення використовуються кераміка (насадка колон), тантал і графіт, просочений фенолформальдегідної смолою (холодильники) і кварц.

Товарними продуктами у виробництві є соляна кислота з вмістом НСІ 27,5 і 31%, інгибована соляна кислота і рідкий хлористий водень з вмістом НСІ 99,5%.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 1.2. Теоретичні основи процесу [14]

Абсорбцією називають фізико-хімічний процес вибіркового - селективного - поглинання одного або декількох компонентів зі складної газової суміші рідким поглиначем - абсорбентом і, отже, абсорбція реалізується у двофазній системі газ - рідина. В результаті фізико-хімічної взаємодії фаз вилучається компонент, що переходить із газової суміші в рідку фазу, при цьому газова суміш збіднюється вилученим компонентом, а рідка фаза відповідно ним збагачується. Початкову газову фазу можна розглядати як механічну газову суміш, що складається з інертних компонентів та речовини, що поглинається абсорбентом. Компоненти газової фази, які практично не поглинаються рідиною, називаються інертними і вони фактично є газовою фазою - носієм стосовно компонента, що переноситься в рідку фазу і нею поглинається. Абсорбент у свою чергу є рідкою фазою - носієм, що складається з поглинача та розчиненого в ньому компонента газової фази. Компонент, що поглинається із газової суміші рідиною - абсорбентом, називають абсорбатом, частку поглиненого компонента в абсорбенті називають абсорбтивом.

Умови протікання процесів абсорбційної взаємодії фаз у системи газ – рідина характеризується їхньою статикою і кінетикою.

Статика процесу абсорбції характеризує умови досягнення рівноважного стану в системі газовий компонент – рідка фаза залежно від вмісту компонента у газовій фазі-носії та приймаючи рідкій фазі, а також від фізико-хімічних властивостей компонента і поглинача та фізичних параметрів системи (температури і тиску).

Кінетика процесу абсорбції характеризує зміну швидкості перенесення (поглинання) речовини з газової фази в рідку фазу залежно від фізико-хімічних властивостей компонента і абсорбента. При цьому враховують умови контактування взаємодіючих фаз в абсорбері (гідродинамічний режим руху фаз та спосіб диспергування потоків), напрям відносного руху фаз, а також параметру процесу (тиск та температуру).

Абсорбція, як типовий дифузійний процес, звичайно протікає у двофазній системі газ (пара речовини) - рідина (поглинач).

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8



При мінімальному числі компонентів у системі три (інертні гази - носій, поглинальний компонент та абсорбент), з газової фази в рідку фазу найчастіше переходить одна речовина - абсорбат.

Відповідно до правила фаз Гіббса в такій системі можна варіювати трьома незалежними параметрами, а саме температурою, тиском і концентрацією речовини - абсорбата в одній із фаз.

У більш складних випадках при абсорбційному вилученні вуглеводневих компонентів із природних газів у системі присутня багатоконпонентна газова суміш та може відбуватися поглинання абсорбентом декількох компонентів, що відповідно збільшує число варійованих параметрів і значно ускладнює розрахунки процесу абсорбції.

Хімічний потенціал у системі розчин - газ (пара) може бути виражений через **фугитивність** (летючість) розчиненого компонента за допомогою залежності:

$$\mu_i(p, T) = \mu^o(T) + RT \ln f_i$$

- де  $\mu_i$  - хімічний потенціал речовини в рідкій фазі в умовах процесу;
- $\mu^o$  - стандартний хімічний потенціал ідеального газу при температурі  $T$  і одиничному тиску;
- $f_i$  - фугитивність компонента в рідкій фазі.

Для ідеальних розчинів, коли сили взаємодії між молекулами компонентів рівні між собою, коефіцієнт активності  $\gamma_i = 1$  отримаємо:

$$f_i = f_o x_i$$

З цього рівняння у загальному випадку встановлює зв'язок між фугитивністю компонента в рідкій фазі залежно від його вмісту в розчині й фізичних умов процесу (температури й тиску). Його можна видозмінити й записати як для ідеальних розчинів, у яких відбувається конденсація пари речовин (при температурах нижче критичної), так і для розчинів газів у рідинах (при температурах вище критичної).

Фазова рівновага при фізичній абсорбції. На основі рівняння (6.5) отримана залежність, що встановлює умови рівноваги для системи газ - рідина, яка отримала назву закону Генрі, відповідно до якого парціальний тиск компонента в газовій

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

фазі над розчином пропорційний мольній концентрації цього компонента в розчині, при цьому

$$p_a = \varphi \cdot x_a$$

- де  $x_a$  - мольна концентрація розчиненого компонента в рідкій фазі, кмоль компонента/кмоль рідини;
- $\varphi$  - коефіцієнт пропорційності, що називають коефіцієнтом Генрі.

Закон Генрі добре узгоджується з експериментальними даними при невеликих тисках газу у системі (до 0,5 МПа) і низьких концентраціях розчиненої речовини, що хімічно не взаємодіє з розчинником.

З останнього рівняння можна представити у вигляді залежності концентрації розчиненого компонента в абсорбенті від парціального тиску цього компонента в газовій суміші, при цьому отримали

$$x_a = \frac{1}{\varphi} p_a$$

З цього рівняння випливає наступне: розчинність речовини в розчині прямо пропорційна парціальному тиску компонента в газовій фазі й обернено пропорційна коефіцієнту Генрі .

Залежність узгоджується цілком задовільно, поки парціальний тиск компонента в газовій суміші не перевищує 1 атмосфери.

Якщо ж константа фазової рівноваги (коефіцієнт Генрі) зростає при підвищенні температури і концентрації ПР у газовій фазі, і отже, розчинність абсорбату у рідині знижується, то рівноважна лінія звичайно є криволінійною зі зростаючою кривизною.

Якщо константа фазової рівноваги має постійне значення у всьому інтервалі змін робочих концентрацій речовини в газовій і рідкій фазах, то рівноважна лінія є прямою, що є характерним для слабо розчинних газів, таких як діоксид вуглецю, метан та ін.

На рис. 2 показані положення кривих розчинності ПР в абсорбенті для деяких газів з різними фізичними властивостями.

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

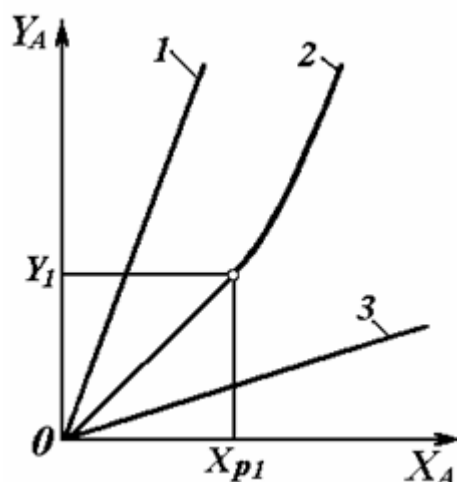


Рис. 2 - Типові криві рівноваги у системі газ - рідина для газів з різною розчинністю: 1 - слабо розчинних; 2 - помірно розчинних; 3 - добре розчинних

Рівноважна лінія 1 відноситься до компонентів, що слабо поглинаються рідиною (наприклад, для азоту, кисню або метану), крива 2 відноситься до помірно розчинних компонентів газової суміші, крива 3 відноситься до добре розчинного газового компонента.

Розчинність різних газів залежить від їхньої фізичної природи, від властивостей розчинника, тиску й температури. Гази, що вступають у хімічну взаємодію з абсорбентом, звичайно поглинаються краще (наприклад, аміак водою).

Для попередньої оцінки розчинності ПР в абсорбенті вважають, що при значеннях коефіцієнта розподілу  $m_a < 1$  гази добре розчиняються в абсорбенті, при значеннях  $m_a > 100$  гази є слабо розчинними, при значеннях  $1 < m_a < 100$  гази можна розглядати як помірно розчинними.

На рис. 3, а) показано вплив температури на розчинність газового компонента в рідині (при постійному тиску), а також вплив тиску на розчинність ПР (при постійній температурі). Як бачимо, зі зниженням температури, розчинність ПР в абсорбенті збільшується (рис. 3, а), з підвищенням тиску розчинність ПР у рідині зростає (рис. 3, б).

В практичних розрахунках зручніше користуватися не парціальними тисками компонентів, а їх відносними масовими рівноважними концентраціями (кг ПР/кг рідини).

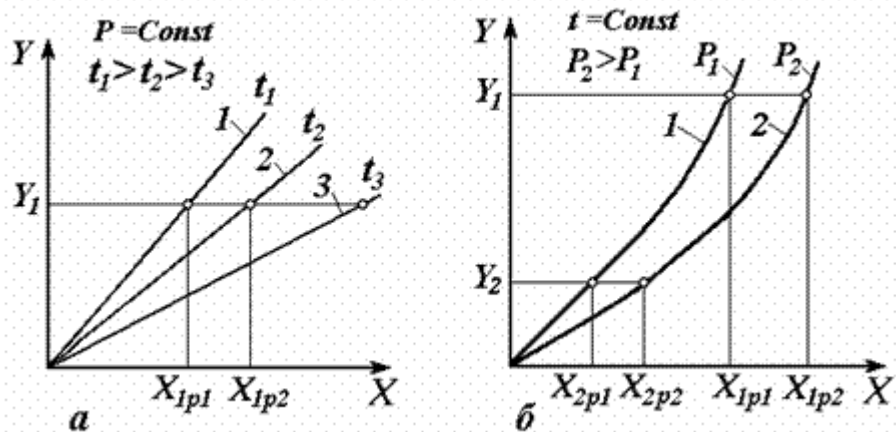


Рис. 3 - Залежність розчинності газів в рідинах: а - від температури; б - від загального тиску

Таким чином, у результаті аналізу статички процесу абсорбції, можна розрахувати й побудувати діаграму рівноваги для конкретної системи газ - рідина з урахуванням фізичних властивостей (летючості, розчинності й теплоти розчинення) газу й абсорбенту при різних параметрах процесу (температурах і тисках). Потім з урахуванням концентрацій ПР і питомих витрат абсорбенту можна нанести на діаграму рівноваги положення робочих ліній процесу і провести подальший розрахунок кінетичних параметрів процесу.

Фазова рівновага в процесах хемосорбції. У хемосорбційних процесах молекули газу, що поглинаються рідиною, вступають у хімічну реакцію з розчиненим в абсорбенті активним компонентом (з кислотним або лужним іоном, радикалом та іншими складовими молекули розчиненої речовини). Тому що теплота розчинення газу при хемосорбції набагато більша теплоти розчинення при фізичній абсорбції, то хемосорбція є більш ефективним процесом при малих концентраціях вилучаємого компоненту у початковій газовій суміші (наприклад, у процесах очищення природного газу від домішок кислих газів: двоокису вуглецю, сірководню й ін.).

Розчинність газу при хемосорбції залежить, від його фізичної розчинності, стехіометричних співвідношень при реакції, констант рівноваги хімічної реакції, температури й тиски та ін.

При протіканні хімічної реакції між речовиною, що поглинається, і абсорбентом можливі варіанти процесу, коли реакція між ними проходить незворотно з утворенням нової хімічної сполуки (наприклад, коли з газоповітряної суміші поглинається аміак водними розчинами сірчаної кислоти з утворенням розчину сульфату амонію або при поглинанні з газоповітряної суміші окислів азоту розчином їдкового калію з утворенням нітрату калію та ін.). В інших випадках реакція між поглинаємою речовиною і абсорбентом, що містить активний компонент, протікає зворотно (наприклад, поглинання кислих газів із природного газу розчинами діетиленгліколю), що дозволяє провести регенерацію абсорбенту при зниженому тиску й підвищеній температурі процесу.

При розрахунку фазової рівноваги в процесах хемосорбції враховують фізико-хімічні властивості речовини, що поглинається, і абсорбенту, тип хімічної реакції й характер взаємодії ПР із поглиначем (хімічна реакція, асоціація, дисоціація й ін.), відповідно до них розраховують константу фазової рівноваги. На базі отриманих даних будують графіки залежностей парціальних тисків компонента, що поглинається, залежно від температури й концентрації речовини в абсорбенті.

Фазова рівновага при абсорбції декількох компонентів. При переробці природних і попутних нафтових газів абсорбція є одним з основних методів вилучення більш цінних вуглеводневих компонентів газової суміші. Особливістю процесу абсорбції вуглеводневих газів є те, що як газ - носій використовується метан - основний і слабо поглинаємий компонент газової суміші. Компонентами, що поглинаються абсорбентом, є вуглеводневі гази: етан, пропан, бутан, пентан і ін. Як абсорбент використовують зріджені продукти нафтопереробки (бензини, гас, дизельне паливо й ін.) або спеціальні абсорбенти амінової та гліколевої груп (такі як моно- і діетаноламін, ді- і триетиленгліколь та ін.).

У процесі абсорбції природного газу абсорбент поглинає одночасно декілька вуглеводневих компонентів газової суміші, але з різною швидкістю та пропорційно їхній летючості, концентрації компонентів в газовій суміші та коефіцієнту розподілу.

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

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

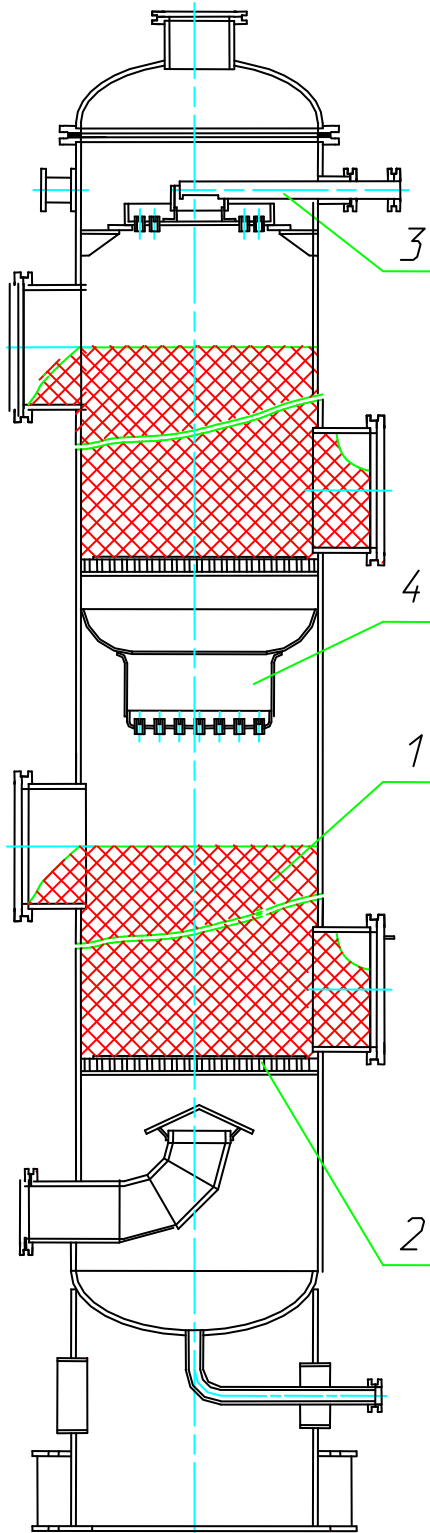


Рис. 4 – Схема насадочного абсорбера:

1 – насадка, 2 – грати, 3 – розподільний стакан, 4 – пересподільна тарілка

Насадні абсорбери є колонами, завантаженими насадкою - твердими тілами різної форми; за наявності насадки збільшується поверхня зіткнення газу і рідини. Найбільш поширена насадка у вигляді тонкостінних кілець заввишки, рівною діаметру, який коливається в межах 15-150 мм Кільця безладно засинають в апарат навалом, або укладають правильними рядами, зрушеними один відносно одного. Таке правильне укладання практично можливе тільки при завантаженні кілець діаметром більше 50 мм Кільця виготовляють з антикорозійних матеріалів (кераміка, фарфор), іноді – зі сталі.

Основними характеристиками насадок є питома поверхня і вільний об'єм. Рідина стікає по поверхні насадки тонкою плівкою і одночасно розподіляється в шарі насадки у вигляді крапель і бризок. При поданні рідини на безладно завантажenu насадку не досягається рівномірний розподіл рідини по перерізу насадки на усій висоті її шару, оскільки щільність засипки насадки біля стінок завжди менша, ніж по осі апарату В наслідок цього рідина розтікається до стінок, причому на деякій

відстані від верхнього рівня шару зрошування центральної частини насадки часто стає недостатнім. Насадний абсорбер показаний на рис. 1 - Насадка 1 спирається на грати 2, в яких є отвори для проходження газу і стоку рідини. Газ поступає в колону знизу і рухається вгору протитечією по відношенню до рідини. Рідина, що подається на насадку, має бути рівномірно розподілена по перерізу колони. Для подання рідини застосовують жолоби, дірчасті труби і інші пристрої.

У абсорбері рідина подається на насадку за допомогою розподільного стакана 3 (бризкалка), в якому є велика кількість отворів діаметром 3-6 мм. Рідина поступає в розподільну склянку з напірного бака або подається безпосередньо насосом і витікає з отворів склянки окремими струменями. Щоб запобігти розтіканню рідини до стінок, іноді насадку засипають не суцільно на усю висоту, а у вигляді окремих шарів. Висота окремих шарів 1,5- 3 м. Для перерозподілу рідини і відведення її від стінок під кожним шаром насадки, окрім нижнього, встановлюють направляючий конус 4. Насадні колони - найбільш поширений тип абсорбера. Перевагою їх є простота пристрою, особливо важлива при роботі з агресивними середовищами, оскільки в цьому випадку потрібно захист від корозії тільки корпуси колони і підтримувальних насадку грат, насадка ж може бути виконана з хімічно стійкого матеріалу (кераміка, фарфор). Інша перевага насадних колон - більш низький, ніж у барботажних абсорберах, гідравлічний опір. Проте насадні колони мало придатні при роботі із забрудненими рідинами, а у разі малих кількостей зрошувачої рідини не дають задовільних результатів, оскільки при низькій щільності зрошування не досягається повна змочуваність насадки. Крім того, в насадних колонах ускладнено відведення тепла, що виділяється при поглинанні газу; відведення тепла може бути

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

здійснені тільки у виносних холодильниках - шляхом рециркуляції поглиначача або шляхом проміжного охолодження.

Вибір певної виконавчої марки стали, відповідно до рекомендацій [5, с 37], обумовлений специфічними умовами роботи, і відповідно необхідністю задоволення обраної маркою стали певних критеріїв, таких як хладостійкість, сумісність по агресивності середовища, доступність і порівняльна дешевизна. Відповідно до рекомендації [6, с.17] матеріал для виготовлення сталевих зварних апаратів повинен бути хімічно і корозійностійким в заданому середовищі, при робочих параметрах, мати гарну зварюваність і відповідними характеристиками міцності і пластичними характеристиками в робочих умовах, допускати холодну і гарячу механічну обробку, а також мати низьку вартість і високу поширеність на ринку. Відповідно до рекомендацій [7, с.59], вибираємо марку сталі - 20К. Дана сталь конструкційна вуглецева якісна. Рекомендується як замітник стали марок 15К. для виготовлення фланців, днища, цільнокованих і зварних барабанів парових котлів, напівмуфт, корпусів апаратів і інших деталей котлобудівництва і посудин, що працюють під тиском і при температурі до 450 ° С. Має більш високу міцність в порівнянні зі сталлю 15К. Вибір даної марки стали, обумовлений корозійну стійкість до даного середовища апарату (хлористий водень), а також вигідними техніко-економічними параметрами і більшою доступністю.

Хімічний склад і механічні властивості представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Хімічний склад і механічні властивості сталі 20К

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E · 10 <sup>5</sup> МПа	σ <sub>T</sub> МПа	σ <sub>B</sub> МПа	δ %
0.16- 0.24	0.35 - 0.65	0.15 - 0.3	до 0.3	до 0.3	до 0.0 4	до 0.08	до 0.08	до 0.04	2.11	225- 245	400- 510	23- 25



В якості виконавчого типу кришки і днища вибираємо еліптичну форму, що відрізняється вигідними техніко-економічними показниками. Як матеріал виготовлення кришки і днища використовуємо ту ж сталь що і при виготовленні циліндричної обичайки - сталь 20К. Еліптичні днища виготовляють гарячим штампуванням і можуть застосовуватися в апаратах, що працюють під надлишковим тиском до 10 МПа.

					<i>ПОХНВ.А,00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>17</i>

## 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТА [15]

### 2.1. Матеріальний та тепловий баланси процесу

Знаючи об'ємну витрату газової суміші в нормальних умовах, можна знайти за рівнянням Клапейрона її об'ємна витрату в робочих умовах на вході в абсорбер.

$$V_{cm} = \frac{V_0}{3600} \cdot \frac{(t + 273) \cdot P_0}{273 \cdot P} \quad (1)$$

$$V_{cm} = \frac{6500}{3600} \cdot \frac{(18 + 273) \cdot 1}{273 \cdot 1,8} = 1,07 \text{ м}^3 / \text{с}$$

де  $P_0$  - атмосферний тиск. Використовуючи цей же рівняння, можна визначити щільність поглинається газу і повітря в робочих умовах.

$$\rho_z = \rho_z^0 \cdot \frac{273 \cdot P}{(t + 273) \cdot P_0} \quad (2)$$

$$\rho_z = 1,63 \cdot \frac{273 \cdot 1,8}{(18 + 273) \cdot 1} = 2,75 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$\rho_{возд} = \rho_{возд}^0 \cdot \frac{273 \cdot P}{(t + 273) \cdot P_0}$$

$$\rho_{возд} = 1,29 \cdot \frac{273 \cdot 1,8}{(18 + 273) \cdot 1} = 2,1 \text{ кг} / \text{м}^3$$

де  $\rho_z^0$  і  $\rho_{возд}^0$  – щільності газу і повітря, що поглинається в нормальних умовах.

$$\left( \rho_z^0 = \frac{M_z}{22,4} = \frac{36,5}{22,4} = 1,63 \text{ кг} / \text{м}^3, \rho_{возд}^0 = \frac{M_{возд}}{22,4} = 1,29 \text{ кг} / \text{м}^3 \right); M_r - \text{молярна маса газу, що пог-$$

линається (Для повітря приймається  $M_{возд} = 29$  кг/моль) [2].

Масовий і об'ємний витрати газу, що поглинається на вході в абсорбер визначаються за формулами:

$$G_z = \frac{V_{cm} \cdot C_y}{1000} \quad (3)$$

$$G_z = \frac{1,07 \cdot 165}{1000} = 0,176 \text{ кг} / \text{с}$$

$$V_z = \frac{G_z}{\rho_z}$$

$$V_z = \frac{0,176}{2,75} = 0,064 \text{ м}^3 / \text{с}$$

					<i>ПОХНВ. А. 00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Абсолютна мольна (об'ємна) частка компонента, що поглинається у вихідній газовій суміші визначається за формулою:

$$y_n = \frac{V_z}{V_{cm}} \quad (4)$$

$$y_n = \frac{0,064}{1,07} = 0,059 \text{ кг/кг}$$

Щільність двухкомпонентної газової суміші знаходиться за формулою:

$$\rho_{cm} = y_n \cdot \rho_z + (1 - y_n) \cdot \rho_{возд} \quad (5)$$

$$\rho_{cm} = 0,059 \cdot 2,75 + (1 - 0,059) \cdot 2,1 = 2,14 \text{ кг/м}^3$$

Масові витрати вихідної газової суміші і повітря (інертного носія) визначаються за формулами:

$$G_{cm} = V_{cm} \cdot \rho_{cm} \quad (6)$$

$$G_{cm} = 1,07 \cdot 2,14 = 2,29 \text{ кг/с}$$

$$G_{возд} = V_{cm} - \rho_z$$

$$G_{возд} = 2,29 - 0,176 = 2,11 \text{ кг/с}$$

Відносні мольна і масова частки компонента, що поглинається у вихідній газовій суміші визначаються за формулами:

$$Y_n = \frac{y_n}{1 - y_n} \quad (7)$$

$$Y_n = \frac{0,06}{1 - 0,06} = 0,064 \text{ кг/кг}$$

$$\bar{Y}_n = \frac{G_z}{G_{возд}} = Y_n \cdot \frac{M_z}{M_{возд}}$$

$$\bar{Y}_n = \frac{0,176}{2,11} = 0,064 \cdot \frac{36,5}{29} = 0,08 \text{ кг/кг}$$

Масові витрати абсорбованого і не поглиненого компонента в газовій суміші на виході з апарату знаходяться за формулами:

$$M_z = G_z \cdot C_n / 100 \quad (8)$$

$$M_z = 0,176 \cdot 92 / 100 = 0,15$$

$$C'_z = G_z - M_z = G_z \cdot (1 - C_n / 100)$$

$$C'_z = 0,176 - 0,15 = 0,176 \cdot (1 - 92 / 100) = 0,015$$

Відносна масова частка компонента, що поглинається в газовій суміші на виході з апарату визначається за формулою:

$$\bar{Y}'_z = \frac{G'_z}{G_{возд}} \quad (9)$$

					<i>ПОХНВ. А. 00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

$$\bar{Y}_g = \frac{0,015}{2,11} = 0,007$$

Для побудови рівноважної і робочої ліній процесу абсорбції на  $\bar{X} - \bar{Y}$  діаграмі потрібно знайти рівноважну і робочу відносні масові частки компонента, що поглинається в рідині на виході з апарату. Відносна молярна частка компонента, що поглинається в рідині, що знаходиться в рівновазі з вихідної газової сумішшю, визначається по залежності, отриманої на основі спільного рішення рівнянь, що виражають закони Генрі і Дальтона,

$$X_n^* = Y_n \cdot \frac{P}{E} \quad (10)$$

$$X_n^* = 0,064 \cdot \frac{1,8 \cdot 760}{0,002 \cdot 10^6} = 0,044$$

де  $E$  - коефіцієнт Генрі, що залежить від температури, властивостей поглинається газу і абсорбенту, який має розмірність тиску і дорівнює  $0,002 \cdot 10^6$ , мм рт.ст. [2].

Рівноважна відносна масова частка компонента, що поглинається в рідині на виході з апарату визначається за формулою:

$$\bar{X}_n^* = X_n^* \cdot \frac{M_z}{M_{\text{жидк}}} \quad (11)$$

$$\bar{X}_n^* = 0,044 \cdot \frac{36,5}{18} = 0,089$$

де  $M_{\text{жидк}}$  - молярна маса рідкого поглиначка, кг / кмоль. При побудові кривої рівноваги слід враховувати, що розчинення газів супроводжується виділенням теплоти, внаслідок чого підвищується температура поглиначка і знижується розчинність газу. Температура абсорбенту в нижній частині колони з урахуванням диференціальної теплоти розчинення газу і концентрації поглиненого речовини визначається за формулою:

$$t_{np} = t + \frac{q}{c_{\text{жидк}}} \cdot (\bar{X}_n^* - \bar{X}_g) \quad (12)$$

$$t_{np} = 18 + \frac{1230 \cdot 1000}{4186} \cdot (0,089 - 0) = 44,2^\circ\text{C}$$

де  $q$  - диференціальна теплота розчинення газу, кДж / кг;  $c_{\text{жидк}}$  - теплоємність абсорбенту, кДж / (кг · К);  $\bar{X}_g$  - початкова відносна масова частка поглинається ком-

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

понентом в абсорбенті (так як на зрошення колони подається вода, яка не містить поглинається компонента,  $\overline{X}_g = 0$ ).

Оскільки різниця між  $t_{нр}$  і  $t$  перевищує 1 - 2 ° С, то при побудові кривої рівноваги для конкретної системи газ - рідина використовується наступна методика: 1) в 1-м наближенні температура рідини в нижній частині колони  $t_n$  приймається близькою до 40 ° С; 2) для прийнятої температури визначається коефіцієнт Генрі і по рівняннях (10) і (11) розраховуються мольна і масова рівноважні відносні частки компонента, що поглинається в рідини на виході з апарату; 3) за рівнянням (12) розраховується температура абсорбенту в нижній частині колони  $t_{нр}$  з урахуванням диференціальної теплоти розчинення газу і концентрації поглиненого речовини; 4) якщо розбіжність між  $t_{нр}$  і  $t_n$  перевищує 1 - 2 ° С, то приймається  $t_n = t_{нр}$  і продовжуємо розрахунок, починаючи з пункту 2; 5) якщо різниця між  $t_{нр}$  і  $t_n$  складе не більше 1 - 2 ° С, то задають 8 - 10 значень поточної концентрації  $\overline{X}_i^*$  через рівні проміжки в інтервалі від 0 до  $\overline{X}_n^*$ ; 6) за рівнянням (2.12) обчислюють температури  $t_i$ , відповідні обраним значенням поточних концентрацій; 7) Далі визначають значення константи Генрі  $E_i$  для поточних значень температур; 8) за допомогою рівнянь (2.11) і (2.10) розраховують рівноважні відносні молярні частки компонента, що поглинається в рідкій і газовій фазах; 9) результати розрахунків зводяться в таблицю, за даними якої будується крива розчинності газу в рідині з урахуванням впливу температури.

Робоча відносна масова частка  $\overline{X}_n$  поглинається компонента в рідини в нижній частині колони знаходиться в заданому співвідношенні з рівноважної відносною масовою часткою  $\overline{X}_n^*$ , і робоча лінія являє собою пряму, що проходить через точки з координатами  $(0; \overline{Y}_g)$  і  $(\overline{X}_n; \overline{Y}_n)$ .

$$\overline{X}_n = \eta \cdot \overline{X}_n^* \quad (13)$$

де,  $\eta$  – міра насичення води діоксидом вуглецю. Приймаємо  $\eta=92\%$ . [4].

$$\overline{X}_n = \eta \cdot \overline{X}_n^* = 0,92 \cdot 0,077 = 0,070_{кг / кг}$$

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

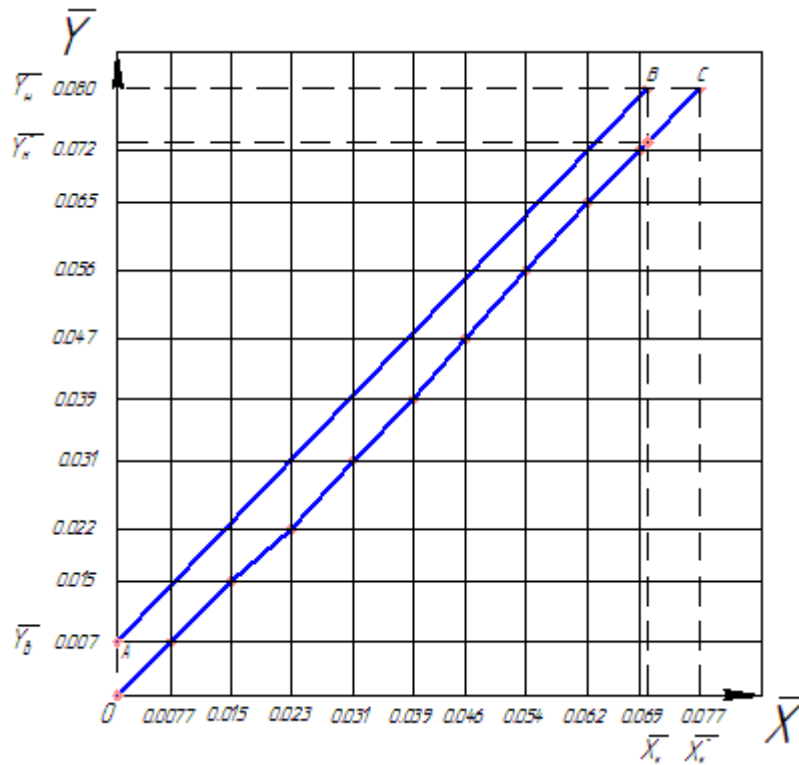


Рис. 5 - Робоча (AB) і рівноважна (OC) лінії абсорбера

Розрахункові дані для побудови рівноважної лінії вказані у додатку А.

Витрата рідкого поглинача визначається з рівняння матеріального балансу процесу абсорбції по компоненту, що поглинається. При складанні цього рівняння мається на увазі, що інертний газ і поглинач рідини не беруть участі в процесі масообміну і їх масові витрати не змінюються по висоті апарату (рис. 2).

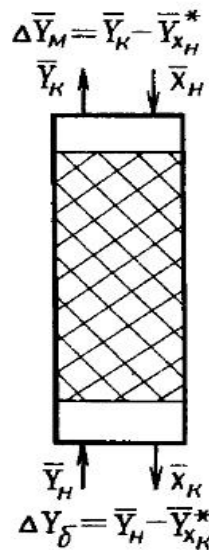


Рис. 6 - Розрахункова схема до написання рівнянь матеріального балансу абсорбера

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Тоді:

$$M = G_{\text{ног}} \cdot (\bar{Y}_n \cdot \bar{Y}_g) = L \cdot (\bar{X}_n - \bar{X}_g) \quad (14)$$

З цього рівняння визначається витрата абсорбенту по формулі:

$$L = \frac{M}{\bar{X}_k - \bar{X}_n} \quad (15)$$
$$L = \frac{0,15}{0,070} = 2,14 \text{ кг/с.}$$

## 2.2. Технологічні розрахунки

Рушійну силу процесу абсорбції в даному випадку зручно висловлювати різницею між робочою і рівноважною відносними масовими концентраціями компонента, що поглинається в газовій фазі (рис. 3). Середня рушійна сила дорівнює:

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = \frac{\Delta \bar{Y}_n - \Delta \bar{Y}_g}{\ln(\Delta \bar{Y}_n / \Delta \bar{Y}_g)}$$

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = 0.007 \text{ кг HCl/кг повітря}$$

Де  $\Delta \bar{Y}_n$  і  $\Delta \bar{Y}_g$  - рушійні сили процесу знизу і зверху абсорберу.

Число одиниць переносу показує, на скільки одиниць змінюється концентрація речовини, що поглинається в фазі в розрахунку на одиницю зміни рушійної сили. Число одиниць переносу для газової фази визначається за формулою:

$$n_{oy} = \frac{\bar{Y}_n - \bar{Y}_g}{\Delta \bar{Y}_{cp}} \quad (16)$$

$$n_{oy} = \frac{0,080 - 0,007}{0,007} = 10,4$$

Необхідно визначити значення коефіцієнтів молекулярної дифузії газу, що поглинається в газовій і рідкій фазах. Коефіцієнт молекулярної дифузії показує, яка кількість речовини дифундує в одиницю часу через одиницю поверхні при зміні концентрації, що дорівнює одиниці, через одиницю товщини шару. Коефіцієнт молекулярної дифузії є фізичною константою, що характеризує природну здатність однієї речовини проникати в середу іншого. Величина коефіцієнта молекулярної дифузії визначається властивостями компонента, що дифундується і фази, в якій він дифундує, а також тиском і температурою.

Коефіцієнт молекулярної дифузії HCl в повітрі:

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

$$D_y = D_{0y} \cdot \frac{P_0}{P} \cdot \left(\frac{t+273}{273}\right)^{1.5} \quad (17)$$

$$D_y = 13 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{1.8} \cdot \left(\frac{30+273}{273}\right)^{1.5} = 8.4 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{с}$$

Коефіцієнт молекулярної дифузії HCl в воді:

$$D_x = D_{0x} \cdot [1 + 0.02 \cdot (t - 12)] \quad (18)$$

$$D_x = 2.3 \cdot 10^9 \cdot [1 + 0.02 \cdot (18 - 12)] = 2.6 \cdot 10^9 \text{ м}^2/\text{с}$$

Де  $D_{0y}$  і  $D_{0x}$  – коефіцієнти дифузії газу в повітрі, в воді при атмосферному тиску.

Плівковий режим роботи масообмінних колон спостерігається на ділянці АВ при малих швидкостях газу, невеликих питомих витратах рідини, невеликих щільностях зрошення. При цьому рідина рівномірно змочує насадку і стікає поверхнею насадки у вигляді тонкої плівки. Кількість затримуваної в насадці рідини мало залежить від швидкості газу (пари), процес масопередачі між газовою і рідкою фазою відбувається на поверхні плівки, поверхню контакту фаз в апараті в цьому випадку приймають рівною поверхні насадки, що змочується. Вважають, що плівковий режим роботи насадкових апаратів, заповнених кільцями Рашига, відбувається при питомих витратах абсорбенту в межах  $(0,2 - 10) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

для плівкового режиму, при якому рідина рухається від елемента до елемента насадки у вигляді плівки і крапель, а взаємодія між фазами відбувається на поверхні змочених елементів насадки, при цьому  $w_z \leq 0,45 w_{np}$ ;

Робоча (фіктивна) швидкість газу для абсорберів, що працюють в плівковому режимі, попередньо визначається за формулою:

$$w' = (0,75 - 0,9) \cdot w_{np} \quad (19)$$

$$w' = 0,85 \cdot 2,78 = 2,36 \text{ (м/с)}$$

де  $w_{np}$  - швидкість газу, що відповідає точці захлебування. Для визначення граничної швидкості газу, при якій настає режим захлебування насадочного абсорбера, використовується емпіричне рівняння[3]:

$$\lg \left( \frac{\omega_{np}^2 \cdot a}{g \cdot \varepsilon^2} \cdot \frac{\rho_y}{\rho_x} \cdot \left(\frac{\mu_x}{\mu_B}\right)^{0,16} \right) = A - B \cdot \left(\frac{L}{G}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_y}{\rho_x}\right)^{0,125} \quad (20)$$

де  $\omega_{np}$  - гранична фіктивна швидкість газу, м / с;

$\rho_x$  і  $\rho_y$  - щільність поглинає води і суміші повітря з аміаком, кг / м<sup>3</sup>;

					<i>ПОХНВ. А.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



$\mu_x, \mu_B$  - в'язкість відповідно поглинача при температурі в абсорбері і води при 20 °  
С, Па \* с;

A, B - коефіцієнти, що залежать від типу насадки;

Для кілець Рашига значення коефіцієнтів A = 0.022 і B = 1,75 [3].

L і G - витрати фаз, кг / с.

$\varepsilon = 0.75 \text{ м}^3/\text{м}^3$  – вільний об'єм насадки.

$\alpha = 140 \text{ м}^2/\text{м}^3$  – питома поверхня.

$$\lg \left( \frac{\omega_{\text{пр}}^2 * 140}{9.8 * 0.785^3} * \frac{2.14}{998} * \left( \frac{0.001}{0.001} \right)^{0.16} \right) = 0.022 - 1.75 * \left( \frac{2.14}{2.11} \right)^{0.25} * \left( \frac{2.14}{998} \right)^{0.125}$$

Вирішуючи це рівняння, отримаємо  $\omega_{\text{пр}} = 2.78 \text{ м/с}$ .

Діаметр абсорбційної колони розраховується на основі рівняння об'ємної витрати газу за робочих параметрах:

$$D = \sqrt{\frac{V_{\text{см}}}{0.785 \cdot w}} \quad (21)$$
$$D = \sqrt{\frac{1.07}{0.785 \cdot 2.36}} = 0.75 \text{ м}$$

Розрахований за рівнянням (21) діаметр колони округляється до найближчої з ряду стандартної циліндричної обічайки, що дорівнює 800 мм [3].

Відповідно до новоприйнятого діаметру D уточнюється робоча швидкість газу в колоні:

$$w = \frac{V_{\text{см}}}{0.785 \cdot D^2} \quad (22)$$
$$w = \frac{1.07}{0.785 \cdot 0.8^2} = 2.1 \text{ м/с}$$

Коефіцієнт масопередачі в апараті по відношенню до газової фази розраховується за рівнянням:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}} \quad (23)$$
$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{0.1} + \frac{0.155}{1.2}} = 0.098 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

де  $\beta_x$  і  $\beta_y$  - коефіцієнти масоотдачі відповідно в рідкій і газовій фазах, кг / (м<sup>2</sup>\*с).

m - середній коефіцієнт розподілу, рівний тангенсу кута нахилу лінії рівноваги (коефіцієнт розподілення поглиненої речовини у фазах).

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Коефіцієнти массоотдачи в насадних абсорберах з нерегульованою насадкою при плівковому режимі визначаються з критерійних рівнянь:

$$\begin{aligned} \text{- Для газової фази} \quad Nu'_{D_r} &= 0,407 * Re_r^{0,665} * Pr_r'^{0,33}, & (24) \\ Nu_{D_2} &= 0,407 \cdot 6757,89^{0,665} \cdot 1,124^{0,33} = 136,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Для рідкої фази} \quad Nu'_x &= 0,0021 * Re_x^{0,75} * Pr_x'^{0,5}, & (25) \\ Nu_{D_{жс}} &= 0,021 \cdot 224,7^{0,75} \cdot 385,39^{0,5} = 23,9 \end{aligned}$$

де,  $Nu'_r$  - дифузний критерій Нуссельта для газової фази:

$$Nu_{D_2} = \frac{\beta_2 \cdot d_3}{D_2} \Rightarrow \beta_2 = \frac{Nu_{D_2} \cdot D_2}{d_3} = \frac{136,4 \cdot 7,9 \cdot 10^{-6}}{0,022} = 0,048 \text{ м/с} \quad (26)$$

$d_3$  - еквівалентний діаметр каналів:

$$d_3 = \frac{4\varepsilon}{a_n} = \frac{4 \cdot 0,78}{140} = 0,022 \text{ м}$$

$Re_r$  - критерій Рейнольдса для газу:

$$Re_r = \frac{4 \cdot \omega \cdot \rho_{см}}{(a_n \cdot \mu_{см})} = \frac{4 \cdot 2,1 \cdot 2,14}{(140 \cdot 0,019 \cdot 10^{-3})} = 6757,89 \quad (27)$$

$\mu_{см}$  - динамічний коефіцієнт в'язкості газової суміші:

$$\mu_{см} = \frac{M_{см}}{\frac{M_{HCl}}{\mu_{см}} \cdot Y_{cp} + \frac{M_{нов}}{\mu_{нов}} \cdot Y_{cp,нов}} = \frac{29,326}{\frac{36,5}{0,122 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,0435 + \frac{29}{18,1 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,9565} = 0,019 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$Pr_{D_r}$  - дифузійний критерій Прандтля для газу:

$$Pr_{D_2} = \frac{\mu_{см}}{(\rho_{см} \cdot D_2)} = \frac{0,019 \cdot 10^{-3}}{2,14 \cdot 7,9 \cdot 10^{-6}} = 1,124 \quad (28)$$

$Nu_{D_{жс}}$  - дифузійний критерій Нуссельта для рідини:

$$Nu_{D_{жс}} = \frac{\beta_{жс} \cdot \delta_{пр}}{D_{жс}} \Rightarrow \beta_{жс} = \frac{Nu_{D_{жс}} \cdot D_{жс}}{\delta_{пр}} = \frac{23,9 \cdot 2,6 \cdot 10^{-9}}{0,0000468} = 0,0013 \text{ м/с} \quad (29)$$

$\delta_{пр}$  - приведена товщина рідкої плівки:

$$\delta_{пр} = \left( \frac{\mu_{жс}^2}{(\rho_{жс}^2 \cdot g)} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{(1,0 \cdot 10^{-3})^2}{(998^2 \cdot 9,81)} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,0000468 \text{ м}$$

$Re_z$  - критерій Рейнольдса для рідини:

$$Re_z = \frac{4 \cdot L}{S \cdot a_n \cdot \psi \cdot \mu_{жс}} = \frac{4 \cdot 2,14}{0,5 \cdot 140 \cdot 0,544 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3}} = 224,7 \quad (30)$$

$S$  - площа поперечного перерізу колони:

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 0,8^2 = 0,5 \text{ м}^2$$

$\psi$  - коефіцієнт смоченности насадки.

$Pr_{жс}$  - дифузійний критерій Прандтля для рідини:

					<i>ПОХНВ. А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

$$\text{Pr}_{D_{жс}} = \frac{\mu_{жс}}{(\rho_{жс} \cdot D_{жс})} = \frac{1.0 \cdot 10^{-3}}{998 \cdot 2.6 \cdot 10^{-9}} = 385.39 \quad (31)$$

Коефіцієнти массоотдачі  $\beta_{\Gamma}$  і  $\beta_{жс}$ , знайдені за допомогою рівнянь (25) і (28), мають розмірність м/с. Перед підстановкою в рівняння (22) їх треба виразити в кг/(м<sup>2</sup>·с):

$$\beta_y = \beta_z \cdot \rho_{см} = 0.048 \cdot 2.14 = 0.1 \text{ кг/ (м}^2 \cdot \text{с)}$$

$$\beta_x = \beta_{жс} \cdot \rho_{жс} = 0.0013 \cdot 998 = 1.2 \text{ кг/ (м}^2 \cdot \text{с)}$$

### 2.3 Конструктивні розрахунки

Для насадочного абсорберу висота шару насадки визначається по рівнянню:

$$H_n = \frac{F}{(0.785 \cdot D^2 \cdot a_n)} = \frac{233.24}{0.785 \cdot 0.8^2 \cdot 140} = 3.3 \text{ м} \quad (32)$$

де F - поверхня насадки, що визначається з основного рівняння массопередачі:

$$F = \frac{M}{k_y \cdot \Delta Y_{cp}} = \frac{0.15}{0.098 \cdot 0.007} = 233.24 \text{ м}^2 \quad (33)$$

Загальна висота колони:

$$H_K = Z \cdot n + (n-1)h_p + Z_B + Z_H \quad (34)$$

де, Z - висота насадки в одній секції. Згідно рекомендації [4], висота слою насадки однієї секції знаходиться в діапазоні  $Z=2 \div 3 D=2.125 \cdot 0.8=1.7$  м;

n - число секцій, n=2;

$h_p$  - висота проміжків між секціями насадка, в яких встановлюються розподільники рідини,  $h_p=1,0$  м, [4];

$Z_B$  - висота сепараційного простору над насадкою,  $Z_B=0,6$  м, [4];

$Z_H$  - відстань між днищем і насадкою,  $Z_H=1,5$  м; [4, с.130]

Загальна висота колони

$$H_K = 1.7 \cdot 2 + (2-1) \cdot 1,0 + 0,6 + 1,5 = 6.5 \text{ м}$$

Визначаємо діаметр патрубку для введення початкової газової суміші :

$$d_r = \sqrt{\frac{V_r}{0,785 \cdot W}}, \quad (34)$$

де, W – швидкість середовища в трубопроводі: для газу 15-20 м/с (приймаємо W=15 м/с);

Патрубки для входу суміші і виходу повітря :

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$d_z = \sqrt{\frac{1.07}{0,785 \cdot 15}} = 0.30 \text{ м}$$

Приймаємо з ряду стандартних діаметрів [3]  $d_r=300$  мм

Визначуваний діаметр патрубку для введення рідини:

$$d_s = \sqrt{\frac{V_{ж}}{0,785 \cdot W}}, \quad (35)$$

де,  $W$  – швидкість середовища в трубопроводі: для рідини 1-5 м/с (приймаємо  $W=2$  м/с);

Патрубки для входу і виходу абсорбенту:

$$d_s = \sqrt{\frac{2.14}{998 \cdot 0,785 \cdot 2}} = 0.036 \text{ м}$$

Приймаємо з ряду стандартних діаметрів [3]  $d_s=40$  мм.

### Вибір люко-лазу

Згідно з ОСТ 26 — 291—71 встановлені основні положення по влаштуванню (конструкції і вибору матеріалів), виготовлення, випробування безпечної експлуатації посудин і апаратів. Всі посудини з внутрішнім діаметром більше 800 мм повинні мати для обслуговування люки-лази діаметром не менше 400 мм.

Отже встановимо 2 люк-лази у верхній і нижній частинах кожної секції для загрузки і вигражки насадки. Рекомендований діаметр люка при даному діаметрі колони (800 мм) становить 400 мм.

$$d_{\text{люк}}=400 \text{ мм}$$

В якості виконавчого типу люка-лазу вибираємо люк з фланцем приварним встик з плоскою ущільнювальною поверхнею без з'єднувального виступу на умовний тиск 0,21 МПа відповідно до [18], виконання 2, розрахований на умовний тиск до 0.6 і експлуатаційну температуру від -70 до 100 ° С. З метою запобігання утворенню мікро-гальвано пари, розвитку корозійних процесів через використання різних марок сталей в якості виконавчої марки приймемо матеріал - сталь 20К.

Конструкція і розміри люків виконання 2 на умовний тиск 0.21 МПа повинні відповідати зазначеним на рисунку:

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

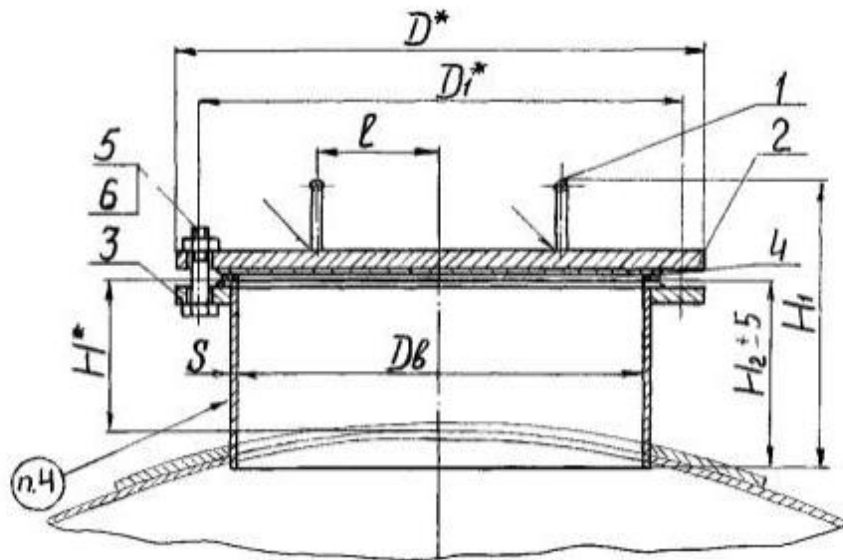


Рис. 7 - Ручка по ОСТ 26-2002. 2. Кришка виконання 2 по ОСТ 26-2095.  
 3. Фланец виконаний 6 по ГОСТ 28759.2. 4. Прокладка виконання 2 по  
 ГОСТ 28759.6. 5. Болт по ОСТ 26-2037. 6. Гайка по ОСТ 26-2038.

Виконавчі розміри люка згідно з ОСТ 26-2094-83 дорівнюють:

- $D_{\text{в}} = 400 \text{ мм}$
- $D^* = 520 \text{ мм}$
- $D_1^* = 480 \text{ мм}$
- $H^* = 200 \text{ мм}$
- $H_1 = 357 \text{ мм}$
- $H_2 = 266 \text{ мм}$
- $l = 160 \text{ мм}$
- $s = 6 \text{ мм}$

Маса одного люко-лаза складе:

$$G_{\text{люк}} = 58.5 \text{ кг}$$

Маса чотирьох люко-лаза складе:

$$G_{\text{люків}} = 234 \text{ кг}$$

### Вибір опорної решітки [13]

Відповідно з в залежності від питомих навантажень опорні решітки повинні встановлюватися в апаратах з внутрішнім діаметром  $D_{\text{в}} = 400 \div 1200 \text{ мм}$  - на опорному кільці. Матеріал решітки виконання 1 - сталь 09Г2С.

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

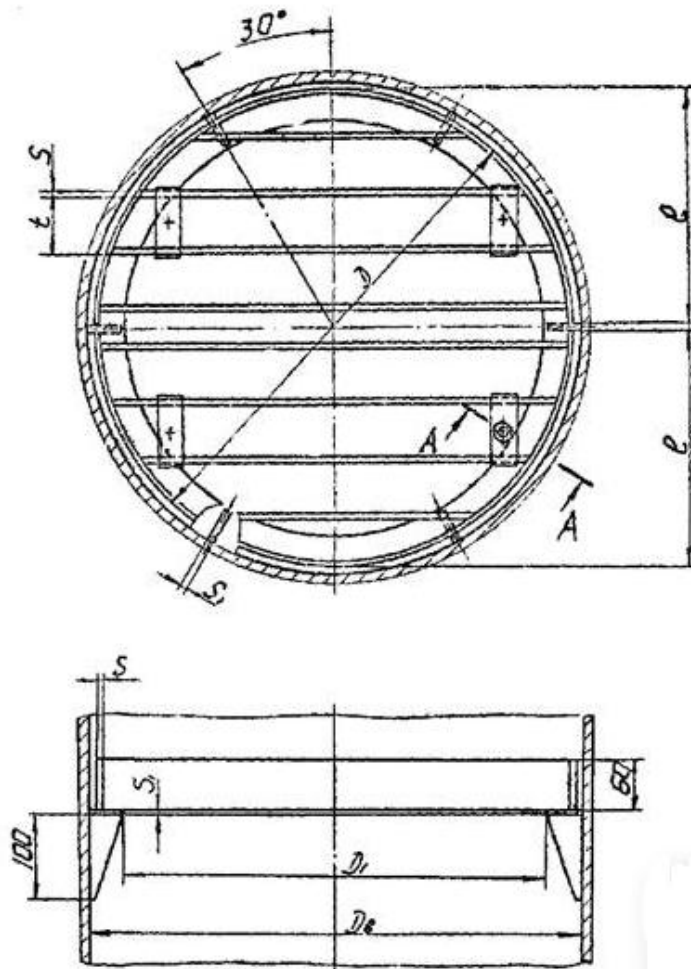


Рис. 8 – Опорна решітка

Таблиця 2 - Основні розміри опорної решітки

Діаметр апарату внутрішній, $D_{в}$	$D$	$D_1$	Діаметр насадки	Виконання решітки	$t$ (пред. откл. $\pm 2$ )	$S$	$S_1$	$l$	Площа вільного перетину, $M^2$	Маса (теор.), кг
800	775	676	35	I	40	6	8	385	0.305	47.5

Відповідно до рекомендації, опорні балки виготовляємо по виконанню 1 з вуглецевих і низьколегованих сталей. Вибираємо тип опорної балки 1, так як він призначений для опорних решіток з однієї центральної балкою. Конструкції і основні розміри опорних балок під решітки повинні відповідати ОСТ 26-02-601-72 [13].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ

Лист

30

Таблиця 3 - Основні розміри опорної балки

Позначення опорної решітки	Діаметр апарату внутрішній, $D_в$ , мм	Діаметр насадки, мм	Грати з однопрогоновими секціями
			Решітки без балок
			Допустиме уд. навантеження, МПа
800-50-I	800	35	6000

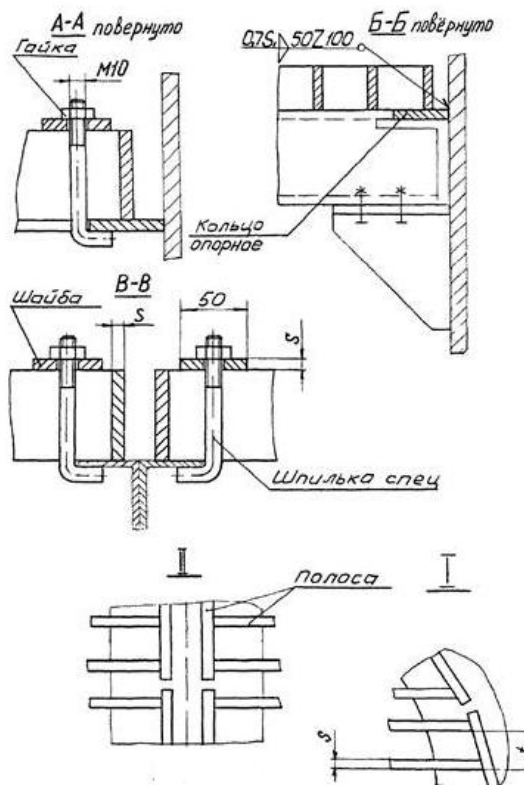


Рис. 9 – Опорна балка

### Вибір розподільної тарілки

Відповідно до рекомендації [4] в насадок колонах встановлюються тарілки типу ТСН-3, призначені для живлення колонного апарату і для рівномірного розподілу рідини по перетину колони. Тарілку ТСН-3 встановлюють вгорі колони, над насадкою. Тарілки повинні виготовлятися відповідно до вимог даного стандарту, технічними вимогами ОСТ 26-291-71 [16]. Так як рідиною є вода, в якості виконавчого матеріалу тарілки беремо - конструкційну вуглецеву сталь звичайної якості - сталь Ст3кп. Відповідно до рекомендації ОСТ 26-705-79 [18], болти і

шпильки для тарілок з вуглецевих сталей повинні виготовлятися зі сталі марки 08Х13, а гайки - зі сталі марки 08Х13 або 20Х13 по ГОСТ 5632-72 [17].

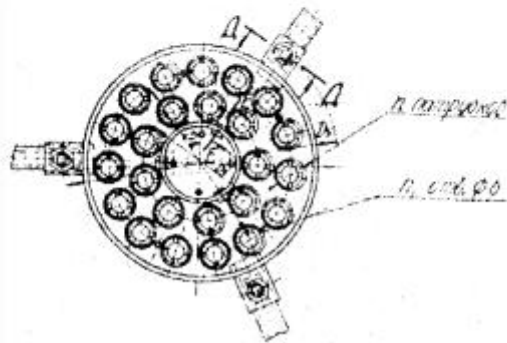
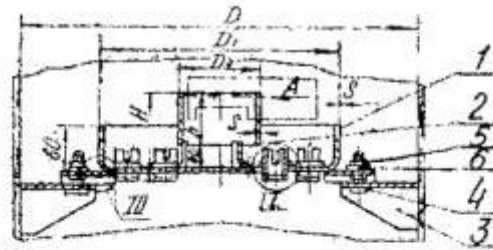


Рис. 10 – розподільна тарілка типу ТСН-3

1 - підстава тарілки, 2 - приймач, 3 - кронштейн, 4 - болт спеціальний, 5 - гайка М12 ГОСТ 5916-70, 6 - шайба 12 ГОСТ 11371-78

Таблиця 4 – Основні розміри

D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	ТСН-3		ТСН-3			Рідинний патрубок		R
						H	h	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	d, t, мммм	Кількість зубців, шт	Кількість п, шт	
800	480	380	235	160	560	165	100	80	20	45 80	7	24	8

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПОХНВ.А,00.00.00.ПЗ

Лист

32



## 2.4 Гідравлічний опір апарату

Гідравлічний опір  $\Delta P$  обумовлює енергетичні витрати на транспортування газового потоку через абсорбер. Величину  $\Delta P$  розраховують по формулі:

$$\Delta P = \Delta P_c \cdot 10^{b \cdot U}, \quad (37)$$

де  $\Delta P_c$  – гідравлічний опір сухої (не зрошуваною рідиною) насадки, Па;

$U$  – щільність зрошування,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;

$$U = \frac{L}{\rho_{жс} \cdot S} \quad (38)$$

де  $S$  - площа поперечного перерізу абсорбера,  $\text{м}^2$ .

$$U = \frac{2.14}{998 \cdot 0.5} = 0,0043 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{с},$$

$b$  – коефіцієнт, значення якого для кілець Рашига внавал рівний  $b = 169$  [3].

Гідравлічний опір сухої насадки  $\Delta P_c$  розраховують по формулі:

$$\Delta P_c = \lambda \cdot \frac{H \cdot \omega_0^2}{d_s \cdot 2} \cdot \rho_y, \quad (39)$$

$$\omega_0 = \frac{\omega_{\text{в}}}{\varepsilon}, \quad (40)$$

де  $\omega_0$  – швидкість газу у вільному перерізі насадки,  $\text{м/с}$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт опору.

Коефіцієнт опору для безладно насипаних кільцевих насадок розраховується по формулі для турбулентного режиму руху ( $Re_y > 40$ ):

$$\lambda = 16 / Re_z^{0.2} \quad (41)$$

$$\lambda = 16 / 6757.89^{0.2} = 2.7$$

$$\omega_0 = \frac{2.1}{0.78} = 2.69 \text{ м/с}$$

$$\Delta P_c = 2.7 \cdot \frac{3.3}{0,022} \cdot \frac{2.69^2 \cdot 2.73}{2} = 4000.3 \text{ Па}$$

$$\Delta P = 4000.3 \cdot 10^{169 \cdot 0.0043} = 2.1 \cdot 10^4 \text{ кПа.}$$

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

## 2.5 Вибір допоміжного обладнання

### Розрахунок ємності

Ємнісні апарати, що представляють собою циліндричні горизонтальні і вертикальні (в співвідношенні висоти до діаметра) судини з внутрішніми пристроями і без них, призначені для здійснення в них різних хіміко-технологічних процесів, а також для зберігання різних хімічних речовин, найчастіше в рідкому або газоподібному стані .

Основним загальним критерієм для всіх ємнісних апаратів є їх місткість, номінальне значення якої незалежно від положення, розмірів і робочих параметрів апарату вибирається з уніфікованого ряду по ГОСТ 9931-79

Типи і основні розміри корпусів ємнісних апаратів стандартизовані (ГОСТ 9931-79).

Даний ємнісний апарат застосовується для зберігання продукту, тому загальний обсяг сировини дорівнює полуторасуточному його запасу.

Необхідний обсяг ємності виходячи з полуторасуточного запасу продукту:

$$V = 1.5 \cdot V_1 \cdot 24 \cdot 3600 = 1.5 \cdot \frac{2.4}{997} \cdot 24 \cdot 3600 = 311.97 \text{ м}^3 \quad (42)$$

$$V_1 = \frac{L}{\rho_p}$$

Де L – витрата абсорбенту

$\rho_p$  – щільність рідини

Умовний обсяг апарату:

$$V_y = \frac{V}{\varphi} = \frac{311.97}{0.85} = 367.02 \text{ м}^3 \quad (43)$$

тут  $\varphi = 0,85$  - коефіцієнт заповнення ємності.

Виберемо горизонтальну ємність з еліптичними днищем і кришкою номінальний обсяг.

Необхідна кількість ємностей:

$$m = \frac{V_y}{V_{ном}} = \frac{367.02}{200} = 1.84 \quad (44)$$

Приймаємо  $m = 2$

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

## Розрахунок насоса

Для всмоктуючого і нагнітального трубопроводу приймемо однакову швидкість течії води, що дорівнює 2 м / с. Тоді діаметр дорівнює:

$$d_{вс} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{2.4}{997}}{3.14 \cdot 2}} = 0.039 \text{ м} \quad (45)$$

Приймемо, що трубопровід сталевий, корозія незначна.

Визначення втрат на тертя і місцеві опори:

Знаходимо критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d \rho}{\mu} = \frac{2 \cdot 0.039 \cdot 997}{0.935 \cdot 10^{-3}} = 831722 \quad (46)$$

тобто режим турбулентний.

Визначимо відносну шорсткість:

Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо, тоді

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0.039} = 0.005 \quad (47)$$

Далее получим:

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{0.005} = 200$$

$$560 \frac{1}{e} = 560 \cdot \frac{1}{0.005} = 112000$$

$$10 \frac{1}{e} = 10 \cdot \frac{1}{0.005} = 2000$$

У трубопроводі має місце змішане тертя, і розрахунок слід поводити по формулі:

$$\lambda = 0.11 \left( e + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} = 0.11 \cdot \left( 0.005 + \frac{68}{831722} \right)^{0.25} = 0.03 \quad (48)$$

Визначимо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої і нагнітальної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

1) Вхід в трубу (приймаємо з гострими краями) ;:

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

2) Прямоточний вентиль: для,;

Сума коефіцієнтів місцевих опорів у всмоктувальній лінії:

$$\sum \xi = \xi_1 + 2\xi_2 = 0,5 + 2 \cdot 0,79 = 2,08 \quad (49)$$

Втрачений натиск у всмоктувальній лінії знаходимо за формулою

$$h_{n.вс.} = \left( \lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{mc} \right) \cdot \frac{w^2}{2g} = \left( 0,03 \cdot \frac{3}{0,4} + 2,08 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,76, \text{ м} \quad (50)$$

Для нагнітальної лінії:

1) Прямоточний вентиль;

2) Вихід з труби,;

Сума коефіцієнтів місцевих опорів в нагнітальної лінії:

$$\sum \xi = 2\xi_1 + \xi_2 = 2 \cdot 0,79 + 1 = 2,58$$

Втрачений натиск в нагнітальної лінії:

$$h_{n.наг.} = \left( \lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi_{mc} \right) \cdot \frac{w^2}{2g} = \left( 0,03 \cdot \frac{10}{0,4} + 2,58 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,67, \text{ м} \quad (51)$$

Общие потери напора:

$$h_{общ} = h_{n.вс.} + h_{n.наг.} = 0,76 + 0,67 = 1,43, \text{ м}$$

Вибір насоса

Знаходимо напір насоса за формулою:

$$H = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + H_r + h_{п} \quad (52)$$

де  $p_1$  - тиск в апараті, з якого перекачується рідина, Па;

$p_2$  - тиск в апараті, до якого подається рідина, Па.

$$h_{п} = 0,07 \cdot H_r = 0,07 \cdot 6,5 = 0,455$$

$H_r$ -геометрична висота рідини

$$H = \frac{1,8 - 1,8}{997 \cdot 9,81} + 6,5 + 0,455 = 6,95, \text{ м}$$

З огляду на те, що відцентрові насоси широко поширені в промисловості через достатньо високого ККД, компактності і зручності комбінування з електродвигунами, вибираємо для подальшого розгляду саме такий насос.

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Корисну потужність насоса визначимо по формулі:

$$N_n = \rho g Q H = 997 \cdot 9,8 \cdot 0,0024 \cdot 6,95 = 0,162 \text{ кВт} \quad (53)$$

де Q - подача (витрата),

$$Q = \frac{V}{997} = \frac{2,4}{997} = 0,0024, \text{ м}^3/\text{с} \quad (54)$$

Приймаючи (для відцентрового насоса середньої продуктивності), знайдемо по потужність на валу двигуна:

$$N = \frac{N_n}{\eta_n \cdot \eta_{пер}} = \frac{0,162}{0,6 \cdot 1} = 0,27, \text{ кВт} \quad (55)$$

По таблиці 2.5 [2, с.92] підбираємо відцентровий насос марки X2 / 25, для якого в оптимальних умовах роботи  $Q = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}$ ,  $H = 25 \text{ м ст. води}$ . Насос забезпечений електро-двигуном АОЛ-12-2, кількість оборотів  $n=50 \text{ с}^{-1}$ , потужність електродвигуна  $N_n=1,1 \text{ кВт}$

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

### 3. РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ ТА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки і кришки

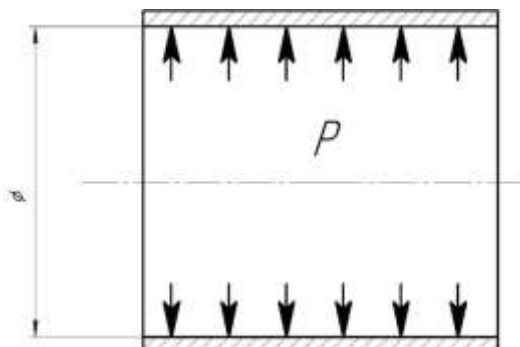


Рис. 11 - Розрахункова схема оболонки

Розрахункова схема обичайки приведена на рис. 4.

Розрахунок товщини стінки циліндричних оболонок здійснюється за формулою:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p} + C \quad (56)$$

де  $p$  - розрахунковий тиск, 1.8 МПа;

$D$  - внутрішній діаметр абсорбера, 800 мм;

$[\sigma]$  допустима напруга для матеріалу 20К при температурі  $t = 30 \text{ C}^\circ$  (робочі умови)

$\varphi$  - коефіцієнт міцності зварного шва 1;

$C$  - надбавка до розрахункової товщини стінки,  $C = 2.8$

$$s_p = \frac{1.8 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 147 - 1.8} + 2.8 = 7.7$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при дозволяється за напрузі

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_m}{1.1} = \frac{147}{1.1} = 133.6 \text{ МПа},$$

$$p_n = 1.25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_n}{[\sigma]} \quad (57)$$

$$p_n = 1.25 \cdot 1.8 \cdot \frac{133.6}{147} = 2.04 \text{ МПа}.$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки обичайки:

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - p} + C \quad (58)$$

$$s_p = \frac{2.04 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 133.6 - 2.04} + 2.08 = 8.2 \text{ мм.}$$

З запасом приймаємо стандартне значення товщини стінки обичайки  $s = 10.0$  мм.

Розрахунок циліндричної обичайки на виконання умов міцності, допустимі навантаження робочих умовах, а також в умовах гідравлічних випробувань і монтажу виконаний в програмі ПАССАТ і наведений у Додатку Б. Згідно з результатами розрахунки співпали.

### Розрахунок товщини стінки еліптичного днища

Розрахункова схема днища приведена на рис. 5:

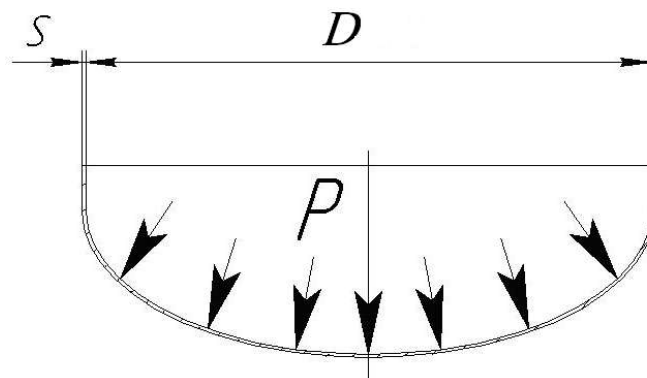


Рис. 12 - Розрахункова схема днища еліптичного

Необхідну товщину еліптичних днищ обчислюють за рівнянням:

$$s_p = \frac{p \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - 0.5 \cdot p} + C \quad (59)$$

де  $p$  - розрахунковий тиск, 1.8 Па;

$R$  - максимальний радіус кривизни днища, мм;

$[\sigma]$  допустима напруга для матеріалу 20К при температурі  $t = 30 \text{ C}^\circ$  (робочі умови)

$\varphi = 1$  - коефіцієнт міцності зварного шва;

$C$  - надбавка до розрахункової товщини стінки,  $C = 2.8$  мм.

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Максимальний радіус кривизни днища визначається за формулою:

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H},$$

де  $D$  – внутрішній діаметр абсорбера,  $D=800$  мм;

$H$  – висота днища, мм.

$$H=800 \cdot 0.25=200 \text{ мм.}$$

$$R = \frac{800^2}{4 \cdot 200} = 800, \text{ мм}$$

$$s_p = \frac{1.8 \cdot 800}{2 \cdot 1 \cdot 133.6 - 0.5 \cdot 1.8} + 2.8 = 8.2 \text{ мм}$$

Приймаємо  $s_{кр} = 10,0$  мм.

Розрахунок еліптичного днища на виконання умов міцності, допустимі навантаження робочих умовах, а також в умовах гідравлічних випробувань і монтажу виконаний в програмі ПАССАТ і наведений у Додатку Б. Згідно з результатів розрахунки співпали.

### 3.2. Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеві з'єднання застосовують для роз'ємного з'єднання складових частин корпусів і кришок. На фланцях приєднують до апаратів труби, арматуру.

Згідно з рекомендаціями [6] в залежності від діаметру апарату ( $D=800$  мм) і внутрішньому тиску ( $P=1.8$  мПа) вибираємо фланець приварний встик, який має конічні втулки-шийки. Втулку фланця приварюють стиковим швом до обічайки.

Згідно регламентованому ОСТ 26-426-79 і ОСТ 26-427-29 конструктивну форму вибираємо - шип-паз, що застосовується при внутрішньому тиску 1.6 – 6.4 мПа.

Розрахунок фланцевого з'єднання на виконання умов міцності, допустимі навантаження робочих умовах, а також в умовах гідравлічних випробувань і монтажу виконаний в програмі ПАССАТ і наведений у Додатку Б.

### 3.3 Розрахунок і вибір опори Розрахунок маси апарату

$D_H=D+2S_1$  – зовнішній діаметр циліндричної обічайки

$$D_H=800+2 \cdot 10=820 \text{ мм}$$

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



Маса циліндричної обичайки:

$$M_{\text{циліндр}} = \pi \cdot \left( \frac{D_n^2 - D^2}{4} \right) \rho \cdot H \cdot 10^{-9} \quad (60)$$

де  $\rho=7870 \text{ кг/м}^3$  – густина сталі.

$H$  – висота циліндричної обичайки

$$M_{\text{циліндр}} = 3.14 \cdot \left( \frac{820^2 - 800^2}{4} \right) \cdot 7870 \cdot 5100 \cdot 10^{-9} = 1020.9 \text{ кг}$$

Маса днища і кришки згідно з ГОСТ 6533-78:

$$M_{\text{днища}}=61,6 \text{ кг}$$

$$M_{\text{кришки}}=M_{\text{днища}}=61,6 \text{ кг}$$

Маса штуцерів згідно з АТК 24.218.06-90:

Маса штуцера для подачі газової суміші:

$$M_{\text{ш1}}=24.3 \text{ кг}$$

Маса штуцера для подачі рідини:

$$M_{\text{ш2}}=1.7 \text{ кг}$$

Маса штуцера для відводу газової суміші:

$$M_{\text{ш3}}=24.3 \text{ кг}$$

Маса штуцера для відводу рідини:

$$M_{\text{ш4}}=1.7 \text{ кг}$$

Загальна маса всіх штуцерів:

$$M_{\text{заг}}=M_{\text{ш1}}+M_{\text{ш2}}+M_{\text{ш3}}+M_{\text{ш4}}$$

$$M_{\text{заг}}=24.3+1.7+24.3+1.7=52 \text{ кг}$$

Масу фланців визначаємо згідно з ГОСТ 12821-80:

$$M_{\text{фл}}=M_{\text{фл1}}+M_{\text{фл2}}=124.8+127.6=252,4 \text{ кг}$$

Маса люків визначається за ГОСТ 26-2003-83:

$$M_{\text{л}}=234 \text{ кг}$$

Маса рідини при гідравлічних випробуваннях:

$$M_p=0.785 \cdot D^2 \cdot H \cdot \rho_p=0.785 \cdot 0.8^2 \cdot 6.5 \cdot 997=3255.8 \text{ кг} \quad (61)$$

Де  $D$  – діаметр апарату

$H$  – висота апарату

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

$\rho_p$  – густина рідини

Маса насадки:

$\rho_{насад}=530 \text{ кг/м}^3$  – насипна густина насадки;

$S=0.5$  – площа поперечного перерізу

$H_{насад} = 3.4 \text{ м}$  – висота слоя насадки.

$$M_{насад} = \rho_{насад} \cdot S \cdot H_{насад} = 530 \cdot 0.5 \cdot 3.4 = 901 \text{ кг} \quad (62)$$

Маса опорних решіток згідно з ГОСТ 26-02-601-72:

$$M_{реш} = 74.4 \text{ кг}$$

Маса розподільної і перерозподільної тарілок вбираємо по ГОСТ 26-705-79:

Маса ТСН II – 16.5 кг

Маса ТСН III – 10.7 кг

$$M_T = 16.5 + 10.7 = 27.2 \text{ кг.}$$

Загальна маса апарату:

Приймаємо, що маса допоміжних приладів (вимірювальних пристроїв) становить 10% від маси всієї колони без середовища.

Загальна маса кришки, днища, циліндричної обічайки, кг:

$$M_{об} = M_{циліндр} + M_{днища} + M_{кришки} + M_{заг} + M_{фл} \quad (63)$$

$$M_{об} = 1020.9 + 123.2 + 52 + 252.24 = 1448.34 \text{ кг}$$

Загальна маса пустого апарату:

$$M_{об.пуст.} = 1.1 \cdot (M_{об} + M_T + M_{насад} + M_{реш} + M_T)$$

$$M_{об.пуст.} = 1.1 \cdot (1448.34 + 234 + 901 + 74.4 + 27.2) = 2742.23 \text{ кг}$$

Загальна маса апарату при гідравлічних випробуваннях:

$$M_{випр} = M_{об.пуст.} + M_p \quad (64)$$

$$M_{випр} = 2742.25 + 3255.8 = 6028.15 \text{ кг.}$$

Вага апарата:

Заповненого:

$$G_{повн.} = G_{max} = M_{випр.} \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 6028.15 \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 0.59 \text{ МН}$$

Пустого:

$$G_{пуст.} = G_{min} = M_{об.пуст.} \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 2742.23 \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 0.27 \text{ МН}$$

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

Визначимо загальну висоту апарату з опорою:

$$H_{\text{обш.}} = H_{\text{ап.}} + H_1;$$

$$H_{\text{обш.}} = 6.5 + 1 = 7.5 \text{ м.};$$

де  $H_{\text{ап}}$  – висота апарату;

$H_1$  – висота опори.

Згідно з рекомендаціями [6] при відношенні висоти апарату до його діаметру:

$$\frac{H}{D} = \frac{7.5}{0.8} = 9.4 < 15$$

розрахункова схема приймається у вигляді пружно-защемленого стержня.

За результатами розрахунку згідно діаметру апарату ( $D=800\text{мм}$ ) і мінімальному навантаженню ( $G_{\text{min}}=0.27$ ) приймаємо стандартну циліндричну опору, типу 2 (кільцевим опорним поясом) [8, стр. 287, Табл. 14.10].

Основні розміри опори по ГОСТ 26–467–78:

$$D_1 = 1080\text{мм};$$

$$D_2 = 750\text{мм};$$

$$D_6 = 950\text{мм};$$

$$S_1 = 8\text{мм};$$

$$S_2 = 20\text{мм};$$

$$S_s = 20\text{мм};$$

$$d_2 = 35\text{мм};$$

$$d_6 = M30;$$

$$Z_6 = 6;$$

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

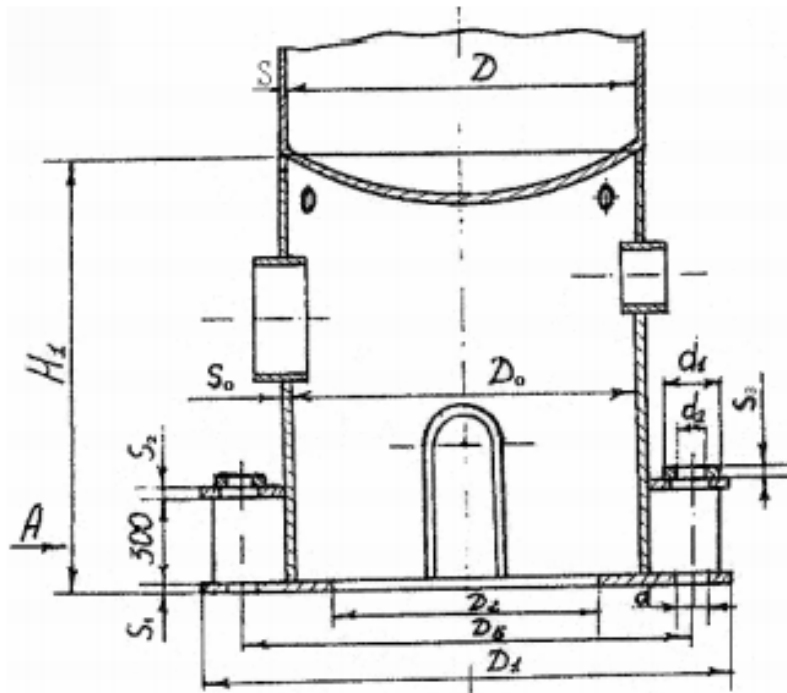


Рис. 13 - Схема опори

Розрахунок опори апарату на виконання умов міцності, допустимі навантаження робочих умовах, а також в умовах гідравлічних випробувань і монтажу виконаний в програмі ПАССАТ і наведений у Додатку Б.

### Розрахунок колони на вітрове і сейсмічне навантаження

Розрахунком перевіряється міцність і стійкість апарату, що установлений на відкритій ділянці при впливі на нього вітра. Зокрема, визначаються розміри найбільш відповідального вузла апарату – опори і фундаментальних болтів, якими кріпиться опора до фундаменту.

Умовно розбиваємо по висоті апарат на 3 ділянки, вага ділянки приймається зосередженим в середині ділянки; вітрове навантаження, рівномірно розподілена по висоті апарату, замінюється зосередженими силами, прикладеними в середині ділянки:

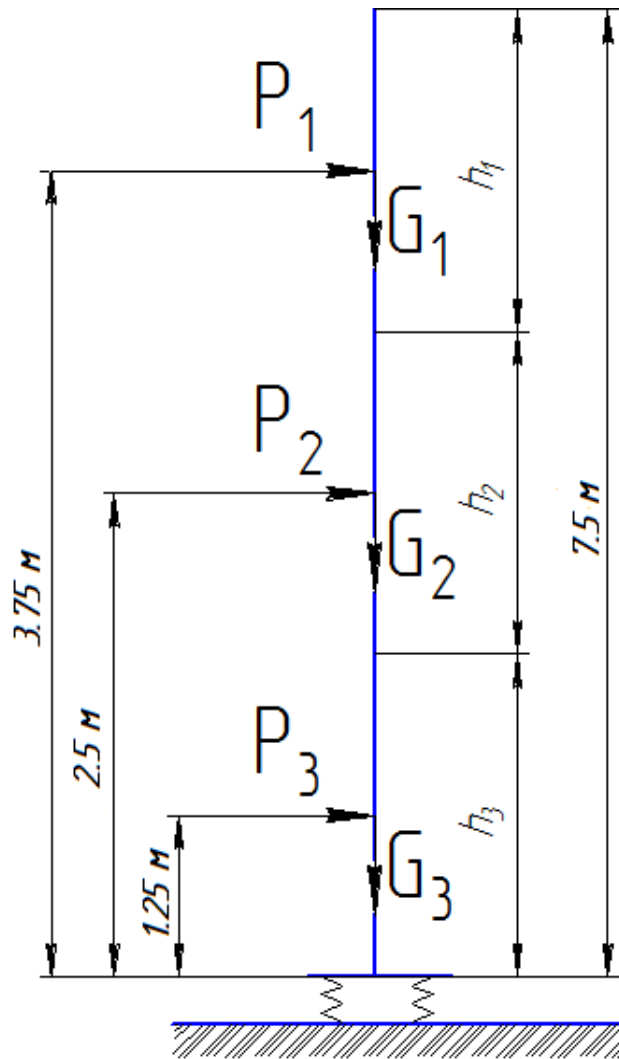


Рис. 14 – Схема розбивки апарату на ділянки

Період власних коливань для максимального і мінімального ваги колони.

При  $H / D < 15$ :

$$T = 1,79H \sqrt{\frac{G}{g} \left( \frac{H}{EJ} + 4\varphi_0 \right)} \quad (65)$$

де  $H = 7.5$  м - висота колони;

$G$  - максимальний або мінімальний вага колони;

$J$  - момент інерції верхнього поперечного перерізу корпусу апарату щодо центральної осі;

$E$  - модуль пружності;

$$J = \frac{\pi}{8} \cdot D_{cp}^3 \cdot (s - c); \quad (66)$$

где  $D_{cp}$  - середний діаметр апарата

$$D_{cp.an.} = D_g + (s - c);$$

$$D_{cp.an.} = 0.8 + (10 - 2.8) \cdot 10^{-3} = 0.807 \text{ м};$$

$$J = \frac{3.14}{8} \cdot 0.807^3 \cdot (10 - 2.8) \cdot 10^{-3} = 0.0015 \text{ м}^4;$$

Кут повороту опорного перерізу:

$$\varphi_0 = \frac{1}{C_\phi \cdot J_\phi} = \frac{1}{50 \cdot 0.117} = 0.17 \quad (67)$$

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

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

$$J_\phi = 1, 3J_k = 1,3 \cdot 0.09 = 0.117 \text{ м}^4 \quad (68)$$

где  $J_k$  – момент інерції фундаментного кільця

$$J_k = \pi D_3 l / 8 = \pi \cdot 0.8 \cdot 0.3 / 8 = 0.09 \text{ м}^4 \quad (69)$$

где  $l = 0,3 \text{ м}$  – ширина кільця

$$T = 1,79 \cdot 6.5 \sqrt{\frac{0.059}{9.8} \left( \frac{7.5}{2 \cdot 10^5 \cdot 0.0015} + 4 \cdot 0.17 \right)} = 2.2 \text{ с} \quad (70)$$

Нормативний швидкісний напір для II географічного поясу  $q = 0,035 \cdot 10^{-2} \text{ МН/м}^2$  [8 с.636]. (СНиП II-A .1 1-62)

Коефіцієнт динамічності визначаємо за графіком [8 с.687]:

$$\text{для } T = 2.2 \text{ с} - \varepsilon = 2,4$$

Коефіцієнт пульсації швидкісного напору визначаємо за графіком [8 с. 687]:

$$\text{для ділянки 1} - m_1 = 0,31$$

$$\text{для ділянки 2} - m_2 = 0,32$$

$$\text{для ділянки 3} - m_3 = 0,34$$

Визначаємо коефіцієнт збільшення швидкісного напору для кожної ділянки

$$\beta = 1 + \varepsilon \cdot m \quad (71)$$

$$\beta_1 = 1 + 2,4 \cdot 0,31 = 1.744$$

$$\beta_2 = 1 + 2,4 \cdot 0,32 = 1,768$$

$$\beta_3 = 1 + 2,4 \cdot 0,34 = 1,816$$

Сила від вітрового навантаження, що діє на кожну ділянку апарату:

$$P_i = 0,6 \cdot \beta_i \cdot q_i \cdot D \cdot h_i \quad (72)$$

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

$$P_1 = 0.6 \cdot 1.744 \cdot 0.035 \cdot 10^{-2} \cdot 0.8 \cdot 2.16 = 0.0006 \text{ МН}$$

$$P_2 = 0.6 \cdot 1.768 \cdot 0.035 \cdot 10^{-2} \cdot 0.8 \cdot 2.16 = 0.00064 \text{ МН}$$

$$P_3 = 0.6 \cdot 1.816 \cdot 0.035 \cdot 10^{-2} \cdot 0.8 \cdot 2.16 = 0.00066 \text{ МН}$$

Згинальний момент від вітрового навантаження на апарат щодо заснування при силі тяжіння апарату:

$$M_{в1} = 0.0006 \cdot 1.25 = 0.00075 \text{ МН}$$

$$M_{в2} = 0.00064 \cdot 2.5 = 0,0015 \text{ МН}$$

$$M_{в3} = 0.00066 \cdot 3.75 = 0,00225 \text{ МН}$$

$$\sum M_{в} = 0,0050 \text{ МН}$$

В тих випадках, коли колонний апарат встановлюється в географічному районі, схильному до землетрусів, є можливість втрати стійкості і падіння апарату. Сила землетрусів оцінюється в балах. Для різних категорій споруд в залежності від їх особливостей встановлена розрахункова сейсмічність в 9 балів.

Оскільки Сумська область знаходиться в районі сейсмічності в 6 балів, то апарат проектується без врахування сейсмічності.

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

## 4. МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТА

### 4.1. Монтаж розробленого апарата

Існує кілька методів монтажу апаратів колонного типу великої маси: нарощування, подрацівание, ковзання, поворот навколо шарніра, метод падаючої стріли, без'якорний, вичавлювання і ковзання з використанням чотирьох монтажних щогл і монтажних кранів.

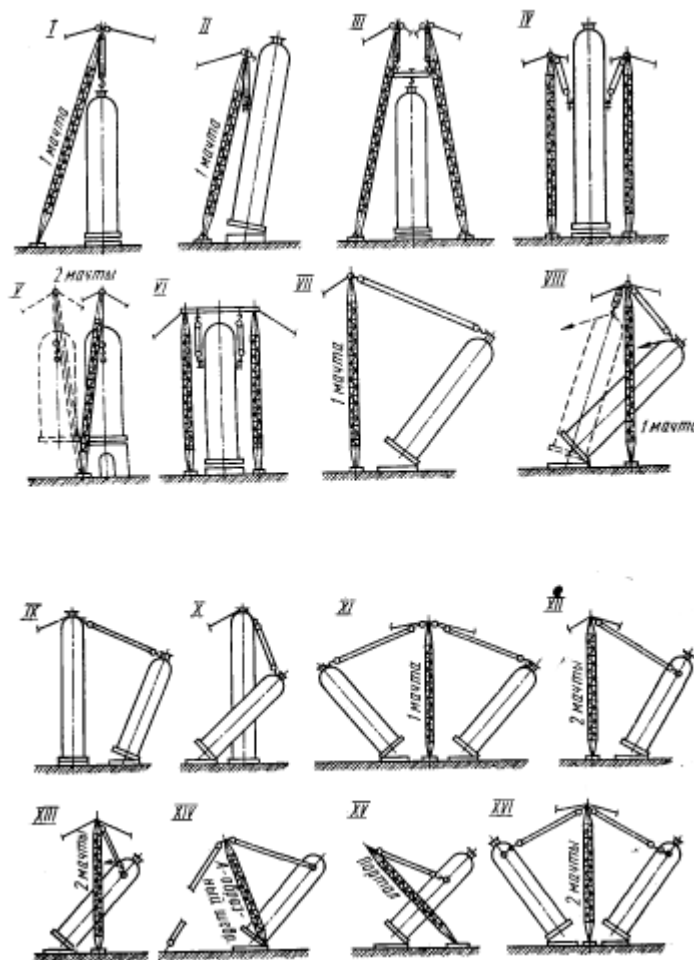


Рис. 15 – способи підйому і установки колонних апаратів за допомогою такелажаних пристроїв.

На майданчику, що здається під монтаж колон, повинні бути споруджені фундаменти під колони, встановлені металокаркасні етажерки і проведена зворотна засипка фундаментів до проекційної позначки з ущільненням ґрунту, а також виконана бетонна підготовка самого майданчика.

У зв'язку з тим що експлуатаційні якості абсорбційних колон в значній мірі залежать від точності складання і якості зварювання монтажних стиків, для скла-

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48



дання і монтажу цих колон обов'язкове розробка проекту виконання робіт (ППР). При розробці ППР слід враховувати, що стиковка окремих блоків повинна забезпечувати сувору вертикальність колони і циліндричність її корпусу, а зварювання монтажних кільцевих стиків корпусу колони переважно виконувати в нижньому положенні з метою отримання зварних швів високої якості, стійких проти міжкристалічної корозії.

При складанні колони під зварювання, згідно з маркуванням заводу-виготовлювача, в першу чергу домагаються сполучення контрольних рисок. Краї монтажних стиків мають V-подібну форму. Зазор між кромками, що стикуються блоків по колу забезпечується сталевими пластинками-фіксаторами товщиною 2 мм, що встановлюються приблизно через 1 ж зміщення кромки не повинно перевищувати 2 мм. Після закінчення підгонки перевіряють прямолінійність корпусу колони за допомогою нівеліра по бічній і верхній утворюючим. Кривизна корпусу не повинна перевищувати 2 мм на довжині 1 м і бути більш 30 мм на всю довжину корпусу.

Зварювання стиків корпусу абсорбційної колони виробляють також на канатному стенді. Зварювання виконують на постійному струмі електродами марки ОЗЛ-14, ОЗЛ-7, Л-40М або іншими зі стрижнем зі сталі Св-02Х19Н9, Св-04Х19Н9. Спочатку зварюють шви з зовнішнього боку апарату (в нижньому положенні) в три-чотири шари, для чого апарат повертають на стенді в необхідне положення в міру накладення кожного шару за допомогою ручних важільних лебідок, закріплених на опорах стенда. Шви з внутрішньої сторони апарату зварюють в останню чергу після вирубки кореня шва.

Якість зварних з'єднань перевіряють шляхом зовнішнього огляду, просвічування гамма-променями (по всій протяжності монтажного шва), випробування зразків на міжкристалічну корозію і пневматичного випробування (гідравлічним тиском відчуюють окремі блоки на заводі-виробнику) до підйому колони в вертикальне положення.

Підлива опорної конструкції повинна бути виконана не пізніше 24 годин після здачі колони під підливу. Для підливи навколо фундаменту встановлюють

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

опалубку, а щоб уникнути попадання при підливі бетонної суміші на домкрати останні також загороджують спеціальною опалубкою. Для підливи застосовують бетонну суміш марки не нижче 150. Бетонну суміш в процесі підливи ущільнюють вібратором або сталевими прутами.

Монтаж насадок. Якщо по умові роботи апарату насадки можуть лежати безладно, їх завантажують наступним чином. Апарат наповнюють водою до верхнього люку. Насадка, піднята на верхній майданчик за допомогою якогось таке-лажного пристрою, висипається з корзин або мішків в воду. По мірі наповнення колони зайва частина води спускається через нижній штуцер колони.

## 4.2. Ремонт апарата

Основним видом зносу колонних апаратів є забивання та корозія її елементів. Корпуси та внутрішні пристрої колонних апаратів зношуються в результаті корозійного, ерозійного і термічного впливу середовища.

Колонні апарати ремонтують при планово-попереджувальних ремонтах технологічної установки.

Підготовка колонних апаратів до ремонту полягає в наступному: доводять тиск в колоні до атмосферного, видаляють з апарату робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, який витісняє залишилися в колоні пари і газу. Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чергують кілька разів.

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

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

Ремонт апарату починається з розкриття, яке слід проводити, суворо дотримуючись таких правил: спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, в результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, так як за рахунок різниці температур відбувається сильна притока повітря в колону, що може привести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Після відкривання люків колона деякий час провітрюється в результаті природної конвекції повітря. Після закінчення провітрювання потрібно провести аналіз проб повітря, взятих з колони на різних висотних відмітках.

До робіт всередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і парів в ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

Корпус колони і її внутрішні пристрої піддають ретельному огляду.

Спуск секцій тарілок проводиться встановленої у верхній частині колони поворотною кран-укосиною потрібної вантажопідйомності.

Ремонт корпусу колонних апаратів проводять в залежності від виявлених дефектів. Дефекти корпусу виявляють шляхом візуального огляду та ультразвукової дефектоскопії.

Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом.

Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими з обов'язковим встановленням зміцнювальних кілець.

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

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами.

Ремонт колони закінчується її випробуванням. При гідравлічному випробуванні колона заповнюється водою при відкритій воздушці, яка встановлюється на верху колони. Поява води в воздушці свідчить про заповнення колони. Після закриття воздушки тиск в колоні повільно підвищується до контрольної величини. При цьому тиску апарат витримується 5 хв, потім тиск знижується до робочого значення, при якому здійснюється обстукування зварних швів молотком і огляд корпусу колони. При проведенні пневматичного випробування обстукування зварних швів не допускається.

					<i>ПОХНВ. А, 00. 00. 00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### Характеристика і класифікація електромагнітних полів

Не можна однозначно говорити, що електромагнітні поля (ЕМП) – це зло. Нові технологічні процеси, які використовують електромагнітні (ЕМ) хвилі радіочастот, широко застосовуються в різних галузях народного господарства. Кожний з вас щодня з ними стикається, включаючи телевізор або комп'ютер.

Розрізняють три діапазони радіочастот:

- 1 ВЧ - високочастотні 100 кГц - 30 мГц.
- 2 УВЧ - ультрависокочастотні 30 мГц - 300 мГц.
- 3 НВЧ - надвисокочастотні 300 мГц - 300000 мГц.

ВЧ - застосовуються при індукційній термообробці металів (паяння, гартування, плавлення), в радіозв'язку.

УВЧ - застосовуються в радіозв'язку, телебаченні, медицині, промисловості для високочастотного нагріву діелектриків, сушінні деревини.

НВЧ - у фізіотерапії, радіолокації, астрономії.

Джерелами ЕМП всіх перелічених вище частот можуть бути:

- 1) неекрановані високочастотні елементи;
- 2) індуктори, трансформатори, конденсатори;
- 3) антенні системи;
- 4) генератори і блоки НВЧ-приладів;
- 5) високовольтні лінії електропередач;
- 6) атмосферна електрика.

ЕМ поля характеризуються:

- 1) векторами напруженості електричного поля  $E$ , В/м;
- 2) векторами напруженості магнітного поля  $H$ , А/м.

Вектори біжучої хвилі завжди взаємно перпендикулярні і пов'язані співвідношенням  $E = 377 \cdot H$  (при поширенні в повітрі).

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

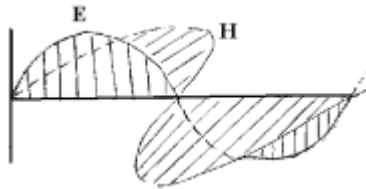


Рисунок 16 - Поширення ЕМ хвилі в повітрі

Поширення ЕМ хвилі пов'язано з перенесенням енергії в просторі. Енергія ЕМ поля визначається щільністю потоку енергії або інтенсивністю  $I$ :

$$I = E \cdot H \text{ (Вт/м}^2\text{)}$$

Дія змінних електромагнітних полів на людину

В електричному полі атоми і молекули людського тіла поляризуються, а полярні молекули (води), крім того, орієнтуються за напрямом силових ліній ЕМ поля. В електролітах (кров, міжклітинна рідина та ін.) після прикладення зовнішнього поля з'являються іонні струми. При цих явищах відбувається нагрівання біологічних тканин людини. Надмірне тепло організмом відводиться до певної межі. При інтенсивності ЕМ поля  $I = 10 \text{ Вт/м}^2$ , тобто при так званій тепловій межі підвищується температура тіла немовби зсередини, а рецептори, що враховують механізм терморегуляції, розміщені зовні тіла.

Таке нагрівання особливо небезпечне для тканин із слаборозвиненою судинною системою або з недостатнім кровообігом і недостатньо розвиненою системою терморегуляції (очі, мозок, нирки, сечовий міхур). Так, наприклад, опромінювання очей викликає помутніння кристалика (катаракту). Причому вона виникає не відразу, а через декілька днів або тижнів.

Крім того, відбувається також дія на нервову систему, склад крові, біохімічну активність білкових молекул.

Дія ЕМ полів на людину залежить від:

1. Напруженості складових полів.
2. Інтенсивності потоку енергії.
3. Частоти коливань.
4. Локалізації на поверхні тіла.
5. Часу.

6. Відстані.

7. Індивідуальних особливостей організму.

Нормування електромагнітних полів

Нормування здійснюється за ГОСТом 12.1.006-84 “Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля” з теплової дії.

Згідно з теорією ЕМ поля простір навколо джерела змінного електричного або магнітного полів ділиться на дві зони:

- 1) ближню зону (зону індукції) на відстані;
- 2) дальню зону (зону випромінювання) на відстані,

У зоні індукції ще не сформувалася електромагнітна біжуча хвиля, тому електричне і магнітне поля можна вважати незалежними одне від одного. Тому напруженість поля в цій зоні нормується за обома складовими ЕМ поля.

У зоні випромінювання поле характеризується вже сформованою хвилею, важливим параметром якої є щільність потоку енергії (ЩПЕ).

Нормування в цій зоні проводяться за інтенсивністю, Вт/м<sup>2</sup>, яка обернено пропорційна квадрату відстані до точкового джерела:

$$I = P_A / (4\pi R^2)$$

де  $P_d$  – потужність джерела випромінювання, Вт;

$R$  – відстань до джерела, м.

У діапазоні частот 60 кГц - 300 мГц гранично допустима напруженість ЕМ поля на робочих місцях не повинна перевищувати протягом робочого дня значень, да-них в таблиці 5.

Таблиця 5 – значення допустимої напруженості ЕМ поля на робочих місцях.

Частота, МГц	0,006-3	3-30	30-50	50-300
Електрична складова $E$ , В/м	50	20	10	5
Магнітна складова $H$ , А/м	5	0,3		

У діапазоні 300 мГц - 300 гГц нормується щільність потоку енергії ЩПЕ ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), оскільки зона індукції біля самого джерела (відстань  $R$  дуже мала). Гранично допустима щільність потоку енергії в діапазоні частот 300 мГц - 300 гГц у будь-якому випадку не повинна перевищувати  $10 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Враховується також тривалість роботи з джерелом.

У діапазоні СВЧ 300 мГц - 300 гГц для осіб, не пов'язаних професійно з опромінюванням, і для населення щільність потоку енергії не повинна перевищувати  $1 \text{ мВт}/\text{см}^2$ .

#### Методи захисту

Ослаблення потужності ЕМ поля на робочому місці можна досягти:

- 1) шляхом збільшення відстані від джерела;
- 2) зменшенням потужності випромінювання генератора;
- 3) установкою оточуючого або поглинаючого екранів між антеною і робочим місцем;
- 4) вживанням ЗІЗ.

1. Захист "відстанню" - найпростіший і ефективний метод. Приміщення, де проходять роботи з СВЧ елементами, повинні бути достатніх розмірів, і може бути застосовано дистанційне керування.

2. Зменшення потужності випромінювання може бути досягнуто за рахунок застосування поглинаючих навантажень – еквівалентів антен або ослаблювачів потужності (атенюаторів). Поглинаючі навантаження можуть бути коаксіальними і хвиле провідними.

3. Поглинати енергію може графітна суміш, спеціальна вуглецева суміш, а також різні діелектрики з втратами.

Екранувати можна або саме джерело випромінювання, або робоче місце.

Типи екранів - відбиваючі і поглинаючі (суцільні, сітчасті), замкнуті, незамкнуті, плоскі, граничний хвилевід, коаксіальні.

Ті екрани, що відбивають, виготовлять з алюмінію, сталі, міді, латуні. Захисна дія обумовлена тим, що поле, яке екранується, створює в екрані так звані струми Фуко, що наводять в ньому вторинне поле, за амплітудою майже таке са-

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56



ме, а за фазою протилежне полю, що екранується. Результуюче поле, що утворюється при складанні цих двох полів, дуже швидко затухає в екрані, проникаючи в нього на незначну глибину.

Для захисту працівників від ЕМ випромінювання слід також застосовувати заземлені екрани у вигляді камер або шаф, в яких цілком розміщується передавальна апаратура.

Для оцінки якості екрана користуються поняттям ефективності:

$$E = E_0 / E_e$$

де  $E_0$  - напруженість поля до екранування;

$E_e$  - напруженість поля після екранування.

Для попередження небезпечної дії ЕМ в промислових установках застосовують автоматичне блокування, аварійне відключення або захисні автомати для здійснення заборони роботи при знятому огороженні.

4. До ЗІЗ відносять халати, комбінезони, окуляри. Халати і комбінезони виробляють з трьох шарів тканини - зовнішній і внутрішній з бавовняної діагоналі або ситцю, а середній - з радіотехнічної тканини РТ арт.1551/2158, що в своєму складі має металеву струмопровідну сітку.

Для більшої упевненості в неможливості ураження ЕМ-полями можна заземляти такий одяг.

Очі захищають окулярами марки ОРЗ-5, вмонтованими в капюшони або ж такими, що використовуються окремо. Скельця окулярів покриті напівпровідниковим оловом ( $\text{SnO}_2$ ).

Вимірювання електромагнітних випромінювань

Для вимірювання напруженості складових поля застосовують різні модифікації приладу ИЕМП-1, ИЕМП-2.

Прилад складається з підсилювального блока та набору антен для вимірювання складових поля.

Для вимірювання електричної складової застосовують дипольну антену, а для вимірювання магнітної складової - рамкову антену.

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

Антену вносять в поле там, де потрібно виміряти його напруженість, змінюючи положення антени відносно силових ліній поля, досягають максимального значення стрілки на шкалі приладу.

Діапазон вимірюваних частот 50 Гц - 30 мГц за електричним полем, 100 кГц - 1,5 мГц за магнітним полем.

Для вимірювання щільності потоку потужності випромінювання в діапазоні СВЧ використовують вимірювач щільності потужності ПО-1, вимірювач малих потужностей ВІМ-1, ІММ-6.

Вимірювання інтенсивності НВЧ проводиться на робочому місці обслуговуючого персоналу і в місцях можливого його перебування, на рівні колін (0,5 м), рівні грудей (1,0 м), рівні голови (1,7 м) - три рази.

У протокол заносять середньоарифметичне значення для кожного рівня.

					<i>ПОХНВ. А, 00.00.00. ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

## Список літератури

1. Плановський А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процеси і апарати хімічної технології. Москва, Хімія, 1968, 848 с.
2. Павлов К. Ф., Романків П.Г., Носков А. А. Приклади і задачі по курсу процесів і апаратів хімічної технології. Ленінград, Хімія, 1987, 576 с.
3. Соколов В. Н. Машини та апарати хімічних виробництв. Приклади і задачі. Ленінград, Машинобудування, 1982, 384 с.
4. Дитнерский Ю. І. Основні процеси і апарати хімічної технології. Посібник з проектування. Москва, Хімія, 1983, 272 с.
5. Джон Р. Перрі. Довідник інженера - хіміка. Ленінград, Хімія, 1969, 280 с.
6. Міхальов М. Ф. Розрахунок і конструювання машин і апаратів хімічних виробництв. Приклади і задачі. Ленінград, Машинобудування, 1984, 640 с.
7. Чечель П. С. Процеси і апарати хімічної технології. Київ, Вища школа, 1974, 276 с.
8. Лацинський А. А. Конструювання зварних хімічних апаратів, Довідник. Ленінград, Машинобудування, 1981, 382 с.
9. Гряник Г.Н. Охрана труда и пожарная безопасность. – Киев: «Вища школа», 1981.
10. Духанин Д.Ф., Акулин Д.Ф. Техника безопасности и противопожарная техника в машиностроении. М.: Машиностроение, 1973.
11. Гайдамак К.М., Тыркин Б.А. Монтаж оборудования предприятий химической и нефтехимической промышленности, 1974.
12. ОСТ 26-2094-83, Люки с фланцами и крышками, облицованными листом из коррозионностойкой стали, стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 2003. – 30 с
13. ОСТ 26-02-601-72, Решетки опорные под насадки кольцевые. Основные размеры и технические требования, М.: Изд-во стандартов, 1985. – 18 с.
14. Врагов А.П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв. - Суми: ВТД "Університетська книга", 2007.н

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

15. Методические рекомендации и контрольные задания для самостоятельной работы по курсу «Процессы и оборудование химических производств». Часть 2 Массообменные процессы и оборудование / Сост.: А. П. Врагов, Я. Э. Михайловский. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2002. – 55 с.

16. ОСТ 26-291-94, Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия (С Изменениями N 1, 2). М.: Изд-во стандартов, 1996. – 50 с.

17. ОСТ 26-705-79, Тарелки ТСН-2 и ТСН-3 колонных аппаратов. Конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 1979. – 20 с

18. ГОСТ 5632-72, Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные, М.: Изд-во стандартов, 1973. – 60 с.

					<i>ПОХНВ.А.00.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>60</i>