

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 сірководню. Розробити тарілчастий абсорбер

Виконав:  
студент групи ХМз-63-8с

В'юненко Андрій Анатолійович

\_\_\_\_\_   
підпис

Залікова книжка

№ \_\_\_\_\_

Кваліфікаційна робота бакалавра  
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою \_\_\_\_\_

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

**Підпис голови**  
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Юхименко Микола Петрович

\_\_\_\_\_   
підпис, дата

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

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

Курс 2    Група ХМз-63-8с    Семестр 4

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

Студент В'юненко Андрій Анатолійович

1 Тема проекту: Установка очищення газоповітряної суміші від сірководню. Розробити тарілчастий абсорбер

2 Вихідні дані: Розробити тарілчастий абсорбер для поглинання сірководню з газоповітряної суміші, об'ємна витрата якої становить 3800 нм<sup>3</sup>/год. Температура 15°C. Тиск 8,5 ат. Початковий вміст сірководню в газоповітряній суміші 150 г/м<sup>3</sup>. Ступінь поглинання 94 %. Абсорбент – вода.

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

- |                                                     |                   |
|-----------------------------------------------------|-------------------|
| <u>1. Технологічна схема абсорбційної установки</u> | <u>– 1,0 арк.</u> |
| <u>2. Складальне креслення апарата</u>              | <u>– 1,0 арк.</u> |
| <u>3. Складальне креслення тарілки</u>              | <u>– 1,0 арк.</u> |

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. – 3-е изд., перераб. и доп. – 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

доцент Юхименко М.П.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 57 с., 15 рис., 10 табл., 1 додаток, 16 джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема абсорбційної установки, складальне креслення апарата, складальні креслення вузлів – усього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра «Установка очищення газоповітряної суміші від сірководню. Розробити тарілчастий абсорбер».

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» проаналізовано нормування та контроль у галузі охорони праці, а також система стандартів безпеки праці.

Ключові слова: УСТАНОВКА, АБСОРБЦІЯ, ОЧИЩЕННЯ, КОЛОНА, СІРКОВОДЕНЬ, ТАРІЛКА, МІЦНІСТЬ, НОРМУВАННЯ, КОНТРОЛЬ.

## Зміст

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
|                                                                          | С. |
| Вступ                                                                    | 5  |
| 1 Технологічна частина                                                   | 6  |
| 1.1 Опис технологічної схеми установки                                   | 6  |
| 1.2 Теоретичні основи процесу                                            | 8  |
| 1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструктивних матеріалів | 12 |
| 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата                              | 16 |
| 2.1 Технологічні розрахунки                                              | 16 |
| 2.2 Конструктивні розрахунки                                             | 23 |
| 2.3 Гідравлічний опір апарата                                            | 30 |
| 2.4 Вибір допоміжного обладнання                                         | 34 |
| 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність                        | 39 |
| 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки                            | 39 |
| 3.2 Розрахунок опори апарата                                             | 41 |
| 4 Монтаж та ремонт апарата                                               | 44 |
| 4.1 Монтаж апарата                                                       | 44 |
| 4.2 Ремонт апарата                                                       | 46 |
| 5 Охорона праці                                                          | 49 |
| Список літератури                                                        | 56 |
| Додаток – Специфікації                                                   |    |

|                  |             |                     |                |             |                                                                |                         |             |               |
|------------------|-------------|---------------------|----------------|-------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------|---------------|
|                  |             |                     |                |             | <i>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</i>                                     |                         |             |               |
| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>     | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                                                                |                         |             |               |
| <i>Разраб.</i>   |             | <i>В'юненко</i>     |                |             | <b>Тарілчастий<br/>абсорбер</b><br><i>Пояснювальна записка</i> | <i>Лит.</i>             | <i>Лист</i> | <i>Листов</i> |
| <i>Провер.</i>   |             | <i>Юхименко</i>     |                |             |                                                                |                         | 4           | 57            |
| <i>Реценз.</i>   |             |                     |                |             |                                                                | <b>СумДУ, ХМз-63-8с</b> |             |               |
| <i>Н. Контр.</i> |             |                     |                |             |                                                                |                         |             |               |
| <i>Утверд.</i>   |             | <i>Склабінський</i> |                |             |                                                                |                         |             |               |

## Вступ

Хімічна промисловість – прогресивна, швидко розвиваюча галузь важкої індустрії країни. Хімія все більше проникає в усі сфери народного господарства. У хімічній промисловості широко використовуються процеси абсорбції, в яких у результаті фізико-хімічної взаємодії газової суміші з рідким поглиначем (абсорбентом) відбувається вибіркове поглинання одного з компонентів і перехід його у рідку фазу. Абсорбційні процеси є основною технологічною стадією:

- ряду кислотних виробництв – при поглинанні водою хлористого водню або окислів азоту з отриманням соляної або азотної кислоти відповідно;
- виробництв технологічної очистки газів – поглинання сірководню з природного газу або двоокису вуглецю з азотно-водневої суміші;
- виробництв санітарної очистки газів, що відходять.

Таким чином, абсорбційні процеси є одним із видів процесів масопередачі. При абсорбції масообмін відбувається на поверхні контакту фаз, а тому абсорбційні апарати повинні мати розвинену поверхню контакту між газом та рідиною.

Кваліфікаційна робота бакалавра є важливою і заключною складовою навчального плану підготовки фахівця за освітньою програмою «Комп'ютерний інжиніринг обладнання хімічних виробництв» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» для одержання освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр». У результаті комплексної роботи над проектом закріплюються практичні навички в розрахунках і проектуванні апаратів хімічної технології.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана у відповідності до методичних вказівок [1] із дотриманням усіх нормативних вимог і представленням регламентованих розділів.

|      |      |             |        |      |                    |      |
|------|------|-------------|--------|------|--------------------|------|
|      |      |             |        |      | ПЗПОХНВ.А.00.00.00 | тЛи- |
| Изм. | тЛи- | докум.№ до- | сьПод- | таДа |                    | 5    |

## 1 Технологічна частина

### 1.1 Опис технологічної схеми установки

Промислові схеми абсорбційних установок діляться на дві основні групи. До 1-ї групи належать схеми без десорбції компонента і однократним використанням абсорбенту. До 2-ї групи належать схеми з десорбцією компонента і багаторазовим використанням абсорбенту. Крім того, функціонують спеціальні схеми, за якими регенерація абсорбенту відбувається не шляхом десорбції, а іншими способами [2, 3].

Оскільки в даній кваліфікаційній роботі відбувається абсорбція сірководню з повітряної суміші водою – нам доцільно використовувати схему без десорбції компонента. У результаті абсорбції виходить готовий продукт або напівфабрикат, і тому регенерація поглинача не потрібна. Також у нашому випадку на виході з абсорбера отримуємо, так звану, сірководневу кислоту, яка широко використовується як у промисловості, так і в народному господарстві:

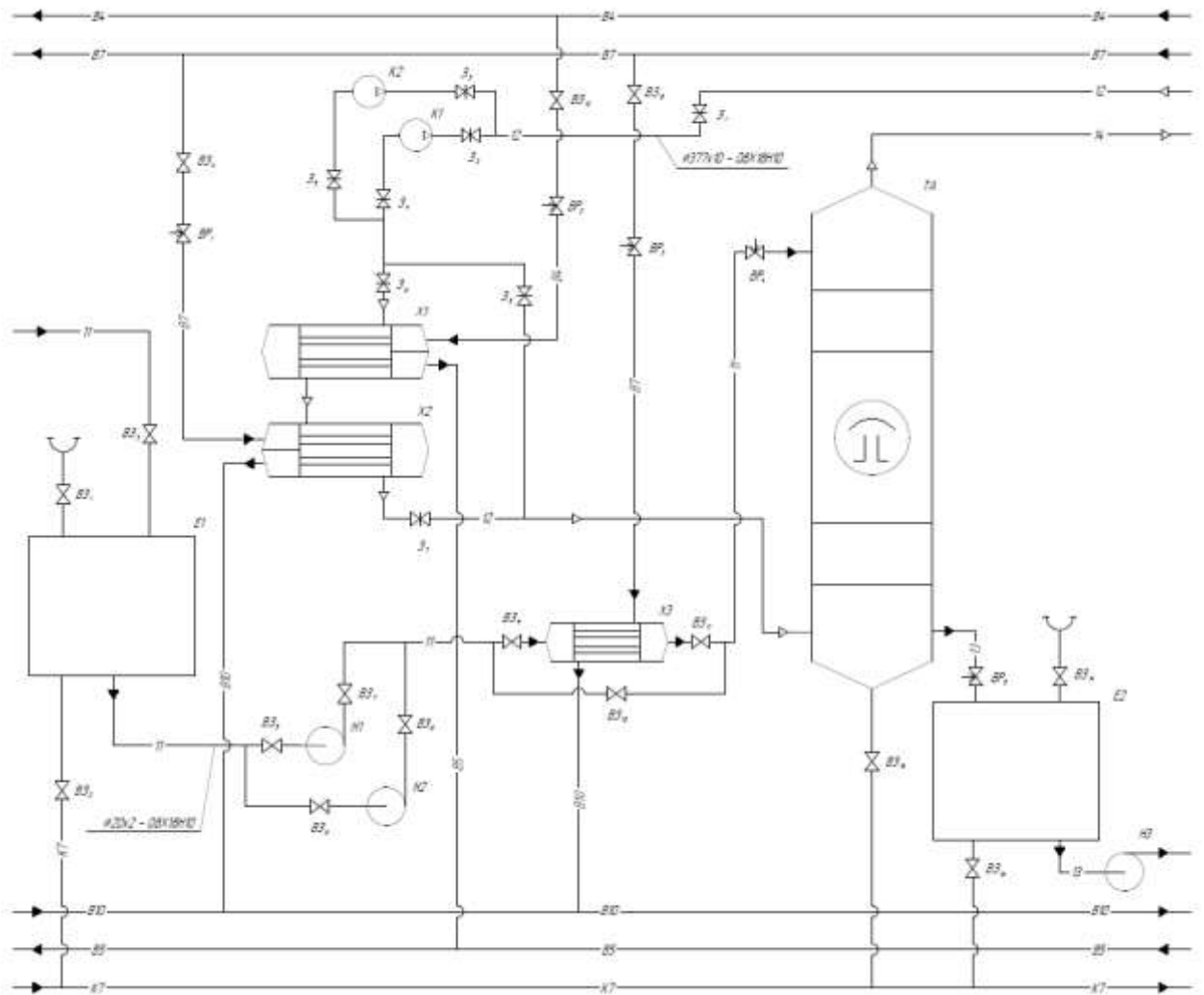
- для отримання сульфідів, сіркоорганічних з'єднань;
- для приготування лікувальних сірководневих ванн.

Принципова технологічна схема одноступеневої абсорбційної установки з рециркуляцією рідини представлена на рис. 1.

Застосування схем із рециркуляцією абсорбенту доцільно в таких випадках:

- 1) коли основний опір масопередачі зосереджено в рідкій фазі;
- 2) при необхідності охолоджувати абсорбент у процесі абсорбції.

Разом із тим, рециркуляція рідини призводить до ускладнення абсорбційних установок і додаткових витрат енергії на перекачування рециркулюючої фази.



**Рисунок 1 – Принципова схема абсорбційної установки**

Працює установка наступним чином. Газова суміш, охолоджена в теплообміннику, подається газодувкою в нижню частину абсорбера, де рівномірно розподіляється по перетину колони і надходить на контактні елементи (тарілки). Абсорбент подається у верхню частину колони відцентровим насосом із ємності, попередньо пройшовши через теплообмінник. У колоні здійснюється протитечійна взаємодія газу і рідини. Очищений газ виходить з колони в нагнітач, а потім в ємність. Абсорбент стікає в ємність, звідки насосом перекачується на подальшу переробку.

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

ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ

Лист

7

## 1.2 Теоретичні основи процесу

*Абсорбцією* називають процес виборчого поглинання компонентів з газових або парогазових сумішей рідким поглиначем (абсорбентом). Абсорбція, як і більша частина дифузійних процесів, оборотна. При цьому напрямок перенесення речовини з фази у фазу визначається умовами рівноваги і концентраціями розподільчої речовини у фазах.

Найбільш поширені такі способи вираження кількісного складу фаз:

1. Об'ємні концентрації – кількість кілограмів (або кіломолей) даного компонента, що припадає на одиницю об'єму фази,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , або  $\text{кмоль}/\text{м}^3$ ;
2. Масові або молярні частки – відношення кількості кілограмів (або кіломолей) даного компонента до маси всієї фази, вираженою загальною кількістю кілограмів, або кіломолей відповідно;
3. Відносні концентрації – відношення кількості кілограмів (або кіломолей) даного компонента до кількості кілограмів (або кіломолей) компонента – носія, кількість якого залишається постійною в процесі абсорбції.

Склад газових сумішей часто виражають через парціальні тиски компонентів. Під парціальним тиском компонента розуміють тиск, під яким знаходився б даний компонент, якби під час відсутності інших компонентів він займав увесь об'єм суміші при даній температурі і тиску.

*Рівновага* – термодинамічний стан системи, при якому швидкості прямого і зворотного процесів рівні, або такий термодинамічний стан системи, яке при постійній температурі і тиску не змінюється в часі.

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 [2]:

$$p^* = E x$$

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

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



системі. При відсутності експериментальних даних залежність коефіцієнта Генрі від температури розраховують за рівнянням [2]:

$$\ln E = -\frac{q}{RT} + C$$

де  $C$  – постійна, 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 [3]:

$$y^* = \frac{Ex}{P} = mx, \text{ або } y^* = \frac{Py}{E} = \frac{y}{m}.$$

При вираженні складу фаз не в абсолютних, а у відносних концентраціях видозмінюється і форма закону Генрі. Однак при малих концентраціях можна прийняти  $X \approx x$  і  $Y \approx y$ , тоді вираз рівноважної залежності набуває вигляду [3]:

$$Y^* = mX \text{ або } X^* = \frac{Y}{m}.$$

На базі отриманих даних будують графіки залежностей парціальних тисків поглинаючого компонента від температури і концентрації речовини в абсорбенті.

Коли в рівновазі з рідиною знаходиться суміш газів, закону Генрі може слідувати кожен з компонентів суміші окремо. Але зазвичай у разі абсорбції багатоконпонентних сумішей рівноважні залежності значно складніші, ніж при абсорбції одного компонента, особливо тоді, коли розчин сильно відріз-

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



При середніх значеннях  $m$  (помірно розчинні гази) опори кожної з фаз виражаються величинами одного порядку і нехтувати одним із них не можна.

Орієнтовно вважають, що при  $m < 1$  гази можна розглядати як добре розчинні, при  $m > 100$  – як погано розчинні, а при  $1 \leq m \leq 100$  – як помірно розчинні [1]. Прикладами добре розчинних газів є  $\text{NH}_3$  і  $\text{HCl}$ , погано розчинних –  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{S}$ , помірно розчинних –  $\text{SO}_2$ .

*Рушійна сила абсорбції*, як і будь-якого масообмінного процесу, визначається ступенем відхилення від рівноважного стану, і чим більше це відхилення, тим інтенсивніше йде процес масопередачі. Рушійна сила виражається різницею робочої і рівноважної концентрацій  $\Delta y$  цільового компонента в газовій фазі або різницею концентрацій  $\Delta x$  у рідкій фазі.

Масопередача при абсорбції може відбуватися при протитоці, прямотоці і перехресному тоці фаз. Крім того, можливі інші види взаємного руху фаз, пов'язані з перемішуванням і розподілом потоків.

Від взаємного напрямку руху фаз і виду їх контакту (безперервний або ступінчастий) залежить величина рушійної сили. Оскільки концентрації фаз змінюються при їх русі уздовж поверхні розділу, змінюється і рушійна сила, тому в основне рівняння масопередачі входить величина середньої рушійної сили [4]:

$$\Delta Y_{cp} = (Y_H - Y_K) / \int_{Y_K}^{Y_H} \frac{dy}{y - y^*};$$

$$\Delta X_{cp} = (X_H - X_K) / \int_X^{X_H} \frac{dX}{X^* - X};$$

В окремому випадку, коли лінія рівноваги має незначну кривизну, середня рушійна сила визначається як середня логарифмічна величина з рушійних сил у кінців апарату [4]:

$$\Delta Y_{cp} = \frac{(Y_H - Y_H^*) - (Y_K - Y_K^*)}{\ln ((Y_H - Y_H^*) / (Y_K - Y_K^*))} = \frac{\Delta Y_H - Y_K}{\ln (\Delta Y_H / Y_K)};$$

$$\Delta Y_{cp} = \frac{(Y_K - Y_K^*) - (Y_H - Y_H^*)}{\ln ((Y_K - Y_K^*) / (Y_H - Y_H^*))} = \frac{\Delta Y_K - Y_H}{\ln (\Delta Y_K / Y_H)};$$

Рівняння були отримані стосовно до ідеальної протитечії контактуючих фаз, що рухаються в режимі повного витіснення, при цьому абсорбер працює з максимальною рушійною силою. Рух зустрічних потоків в реальних апаратах відбувається з деяким відхиленням від режиму ідеального витіснення, результатом чого є зменшення середньої рушійної сили процесу абсорбції.

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

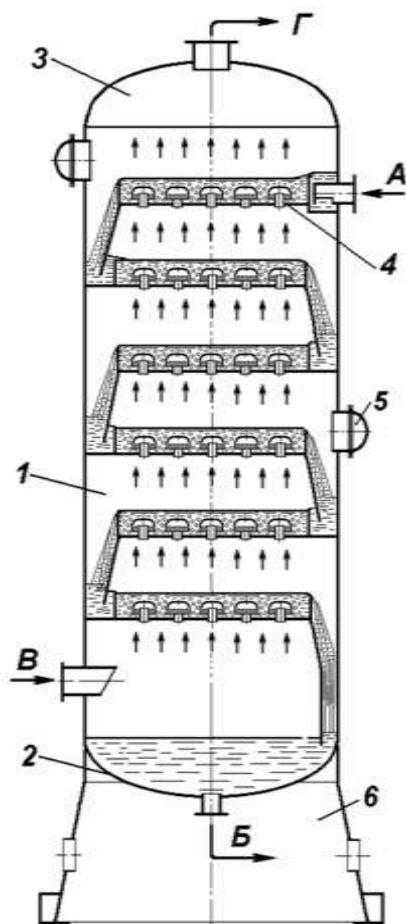
За завданням нам необхідно спроектувати абсорбер з ковпачковими тарілками для поглинання сірководню з газоповітряної суміші.

Сірководень ( $H_2S$ ) – безбарвний газ з різким задушливим запахом;  $t_{пл} = -77,7$  °С,  $t_{кип} = -33,35$  °С. Розчинний у воді (0,378 % по масі при 20 °С); водний розчин – сірководнева кислота. КПВ у повітрі 4,5–45,5 %.

Сірководень є сильним окислювачем. Міститься в попутних газах родовищ нафти, в природних і вулканічних газах, водах мінеральних джерел. Утворюється в результаті розкладання білкових з'єднань. У промисловості виходить як побічний продукт при очищенні нафти, природного і коксового газу. У лабораторних умовах виходить при взаємодії сульфідів заліза і сірчаної кислоти.

У даному проекті доцільно використовувати тарілчасту колону (див. рис. 2) з переливними тарілками (і зі ступеневим контактом фаз). Основними контактними елементами тарілчастих абсорберів є різного типу тарілки, розміщені в корпусі колони по висоті на певній відстані один від одного.

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 12   |

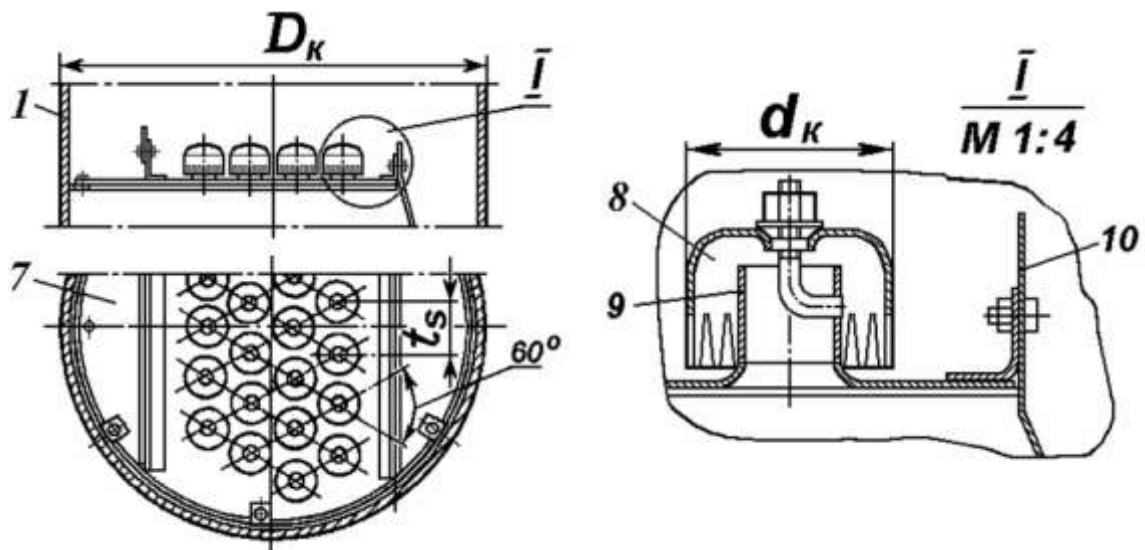


**Рисунок 2 – Абсорбційна колона з ковпачковими тарілками та основні технологічні потоки:**

А – введення абсорбенту; Б – відведення абсорбенту; В – подача газу; Г – відведення очищеного газу; 1 – корпус колони; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – тарілка ковпачкова з сегментним переливом; 5 – люк-лаз; 6 – опора; 7 – полотно тарілки; 8 – ковпачок капсульний; 9 – паровий патрубок; 10 – переливна планка

Абсорбент подається на верхню тарілку і перетікає на нижчерозташовані тарілки по переливним пристроям.

Контактна тарілка (рис. 3) являє собою або круглий диск (для колон діаметром до 1 м), або зібрану із окремих секцій (для колон діаметром більше 1 м), на яких в шаховому порядку закріплені патрубки, накриті зверху круглими капсульними або тунельними ковпачками.



**Рисунок 3 – Ковпачкова тарілка з капсульним ковпачком:**

1 – корпус колони; 7 – полотно тарілки; 8 – ковпачок капсульний; 9 – паровий патрубок; 10 – переливна планка

Базою тарілки є полотно 7 із тонколистового металу, на якому в певному порядку кріпляться газові (парові) патрубки 9, над кожним паровим патрубком встановлюють капсульні ковпачки 8 діаметром 80, 100 або 150 мм, розміри яких стандартизовані і вибираються в залежності від діаметра колони.

Нижня кромка ковпачка має прорізи прямокутної, трикутної або трапецеїдальної форми, які при роботі колони затоплені рідиною і забезпечують диспергування потоку газу і його барботування через шар рідини. Рівень шару світлої рідини на тарілці визначається і регулюється положенням переливної планки 10. Технічна характеристика ковпачкових тарілок приведена в табл. А.8 [2].

Масообмін між газом і рідиною відбувається переважно в шарі піни, утвореному над верхнім зрізом ковпачків. Висота шару піни становить 2–5 висоти шару світлої рідини на тарілці. Рідина перетікає із верхніх тарілок на нижні по переливним каналам, влаштованим за допомогою труб або пластин, занурених у шар рідини на нижчерозташованій тарілці і утворюють гідрозатвор, який перешкоджає проходу газу повз газові патрубки.

|      |      |           |        |      |
|------|------|-----------|--------|------|
| Изм. | Лис- | № докум.№ | Подпи- | Дата |
|------|------|-----------|--------|------|

ПОХНВ.А.00.00.00

Лис-

145

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°C при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [8].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [8–10].

Тому до конструкційних матеріалів проекрованої апаратури висувають наступні вимоги [9]:

- 1) висока корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при робочих параметрах процесу;
- 2) висока механічна міцність при заданих робочих тисках, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічних випробуваннях та експлуатації апаратів;
- 3) гарна зварюваність матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;
- 4) низька вартість і доступність матеріалів.

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

Для деталей колони, які контактують із рідиною вибираємо матеріал – нержавіючу та корозійно стійку сталь 08X18H10T; 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.

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

## 2 Технологічні розрахунки процесу і апарата

### 2.1 Технологічні розрахунки

#### Матеріальний баланс і технологічні розрахунки.

Розрахунок проводимо згідно методики, яка представлена у [5].

Знаючи об'ємну витрату газової суміші за нормальних умов, можна знайти за рівнянням Клапейрона її об'ємну витрату в робочих умовах на вході в абсорбер [2]:

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

де  $P_0$  – атмосферний тиск.

$$V_{CM} = \frac{3800}{3600} \cdot \frac{(15 + 273) \cdot 1}{273 \cdot 8,5} = 0,13 \text{ м}^3/\text{с}$$

Використовуючи це ж рівняння, можна визначити щільність поглинаючого газу і повітря в робочих умовах [6]:

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

$$\rho_{\Gamma} = 1,51 \cdot \frac{273 \cdot 8,5}{(15 + 273) \cdot 1} = 12,17 \text{ кг/м}^3$$

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

$$\rho_{\text{возд}} = 1,3 \cdot \frac{273 \cdot 8,5}{(15 + 273) \cdot 1} = 10,47 \text{ кг/м}^3$$

де  $\rho_{\Gamma}^0$  і  $\rho_{\text{возд}}^0$  – густини поглинаючого газу і повітря за нормальних умов ( $\rho_{\Gamma}^0 = M_{\Gamma}/22,4$ ,  $\rho_{\text{возд}}^0 = M_{\text{возд}}/22,4$ );  $M_{\Gamma} = 34$  кг/кмоль – мольна маса поглинаючого газу (для повітря приймаємо  $M_{\text{возд}} = 29$  кг/кмоль).

|      |      |          |         |      |                     |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
|      |      |          |         |      | ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                     | 16   |



Масовий і об'ємний витрати поглинаючого газу на вході в абсорбер визначаються за формулами [2]:

$$G_{\Gamma} = \frac{V_{CM} \cdot C_y}{1000}$$

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

$$V_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}}$$

$$V_{\Gamma} = \frac{0,0195}{12,17} = 0,0016 \text{ м}^3/\text{с}$$

Абсолютна мольна (об'ємна) частка поглинаючого компонента у вихідній газовій суміші визначається за формулою

$$y_H = V_{\Gamma} / V_{CM},$$

$$y_H = \frac{0,0016}{0,13} = 0,0123 \frac{\text{кмоль } H_2S}{\text{кмоль смеси}}$$

Густина двокомпонентної газової суміші знаходиться за формулою

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

$$\rho_{CM} = 0,0123 \cdot 12,17 + (1 - 0,0123) \cdot 10,47 = 10,49 \text{ кг/м}^3$$

Масові витрати вихідної газової суміші і повітря (інертного носія) визначаються за формулами [5, 6]

$$G_{CM} = V_{CM} \cdot \rho_{CM}$$

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

$$G_{\text{возд}} = G_{CM} - G_{\Gamma}$$

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

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 17   |

Відносні мольна і масова частки поглинаючого компонента у вихідній газовій суміші визначаються за формулами:

$$Y_H = \frac{y_H}{1 - y_H},$$

$$Y_H = \frac{0,0123}{1 - 0,0123} = 0,013 \frac{\text{кмоль } H_2S}{\text{кмоль повітря}}$$

$$\bar{Y}_H = \frac{G_r}{G_{\text{возд}}} = Y_H \cdot \frac{M_r}{M_{\text{возд}}},$$

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

Масові витрати абсорбованого і не поглиненого компонента в газовій суміші на виході з апарату знаходяться за формулами [6]:

$$M = G_r \cdot C_n / 100,$$

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

$$G_r' = G_r - M = G_r \cdot \left(1 - \frac{C_n}{100}\right).$$

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

Відносна масова частка поглинаючого компонента в газовій суміші на виході з апарату визначається за формулою

$$\bar{Y}_B = \frac{G_r'}{G_{\text{возд}}},$$

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

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

$$X_H^* = Y_H \cdot \frac{P}{E}$$

$$X_H^* = 0,013 \cdot \frac{8.5}{428} = 0,000258 \frac{\text{кмоль } H_2S}{\text{кмоль води}}$$

де  $E$  – коефіцієнт Генрі, що залежить від температури, властивостей поглинаючого газу і абсорбенту, який має розмірність тиску.

Для розрахунку можна попередньо прийняти температуру рідини в нижній частині колони  $t_n = t$  і при цій температурі по рис. А.1 [2] визначити відповідне значення  $E$ .

Рівноважна відносна масова частка поглинаючого компонента в рідині на виході з апарату визначається за формулою:

$$\bar{X}_H^* = X_H^* \cdot \frac{M_{\Gamma}}{M_{\text{рід}}}$$

$$\bar{X}_H^* = 0,000258 \cdot \frac{34}{18} = 0,000487 \frac{\text{кг } H_2S}{\text{кг води}}$$

де  $M_{\text{рід}}$  – мольна маса рідкого поглинача, кг/кмоль.

Знаючи ступінь насичення абсорбенту – 90 %, і визначивши рівноважну відносну масову частку поглинаючого компонента в рідині на виході з апарату, ми можемо визначити  $\bar{X}_H$

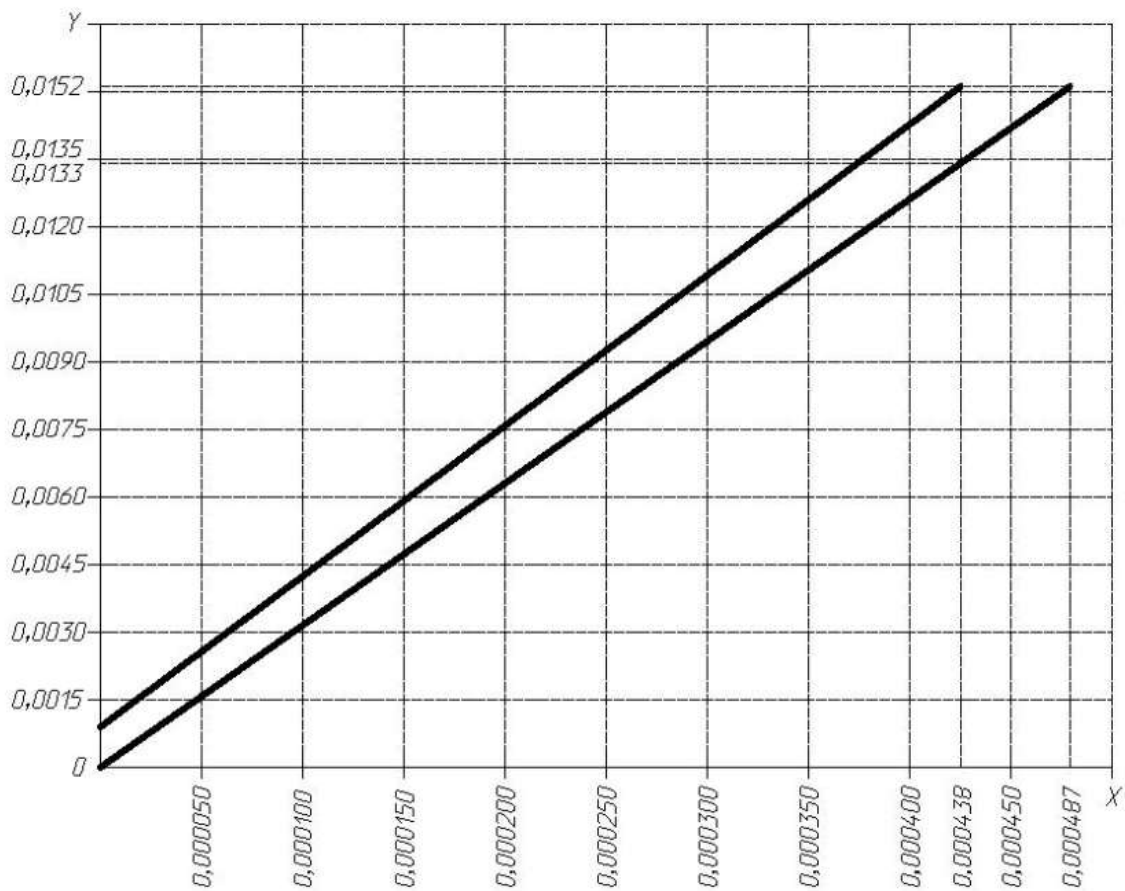
$$\bar{X}_H = 0,9 \cdot \bar{X}_H^* = 0,9 \cdot 0,000487 = 0,000438 \frac{\text{кг } H_2S}{\text{кг води}}$$

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 19   |

Робоча відносна масова частка  $\overline{X}_H$  поглинаючого компонента в рідині в нижній частині колони знаходиться в заданому співвідношенні з рівноважною відносною масовою часткою  $\overline{X}_H^*$ , і робоча лінія являє собою пряму, що проходить через точки з координатами  $(0; Y_B)$  і  $(X_H; Y_H)$  (табл. 1; див. рис. 4).

**Таблиця 1 – Координати точок рівноважної і робочої ліній**

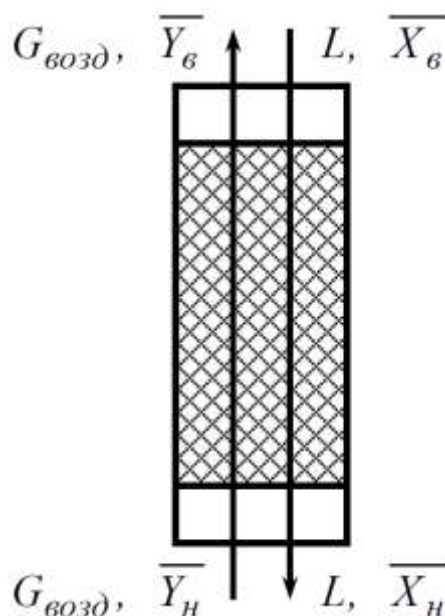
|                 |                      |                      |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| Початкова точка | A (0; 0,00087)       | O (0; 0)             |
| Кінцева точка   | B (0,000438; 0,0152) | C (0,000487; 0,0152) |



**Рисунок 4 – Робоча і рівноважна лінії**

Оскільки різниця між  $t_{HP}$  і  $t$  не більше 1–2 °С, умови протікання процесу вважаємо ізометричними, а рівноважна лінія в цьому випадку буде являти собою пряму, що проходить через точки з координатами  $(0;0)$  і  $(\overline{X}_B^*; \overline{Y}_H)$  (рис. 4).

Витрата рідкого поглинача визначається з рівняння матеріального балансу процесу абсорбції по поглинаючому компоненту. При складанні цього рівняння мається на увазі, що інертний газ і поглинаюча рідина не беруть участі в процесі масообміну і їх масові витрати не змінюються по висоті апарату (рис. 5).



**Рисунок 5 – Розрахункова схема до написання рівнянь матеріального балансу абсорбера**

Тоді

$$M = G_{\text{пов}} \cdot (\bar{Y}_H - \bar{Y}_B) = L \cdot (\bar{X}_H - \bar{X}_B)$$

$$M = G_{\text{пов}} \cdot (\bar{Y}_H - \bar{Y}_B) = 1,34 \cdot (0,0152 - 0,00087) = 0,0192 \text{ кг/с}$$

З цього рівняння визначається витрата абсорбенту [6]:

$$L = \frac{M}{(\bar{X}_H - \bar{X}_B)}$$

$$L = \frac{0,0192}{(0,000438 - 0)} = 43,83 \text{ кг/с}$$

Рушійну силу процесу абсорбції в даному випадку зручно виражати різницею між робочою і рівноважною відносними масовими концентраціями поглинаючого компонента в газовій фазі (рис. 4).

Оскільки рівноважна лінія є прямою – середня рушійна сила визначається [5]:

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

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

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

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

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

Число одиниць переносу показує, на скільки одиниць змінюється концентрація поглинаючої речовини в фазі в розрахунку на одиницю зміни рушійної сили. Число одиниць переносу для газової фази визначається за формулою [5]:

$$n_{oy} = \frac{\overline{Y_H} - \overline{Y_B}}{\overline{\Delta Y_{\text{cp}}}}$$

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

## 2.2 Конструктивні розрахунки

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

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

де  $w_{np}$  – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

Граничну швидкість газу в тарілчастій колоні рекомендується розраховувати за формулою:

$$w_{np} = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_{см}}{\rho_{см}}} \approx C \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{\rho_{см}}}$$

де  $C$  – коефіцієнт, який обирається по рис. 6 у залежності від відстані між тарілками. Попередньо приймаємо відстань між тарілками  $H_T = 500$  мм [5].

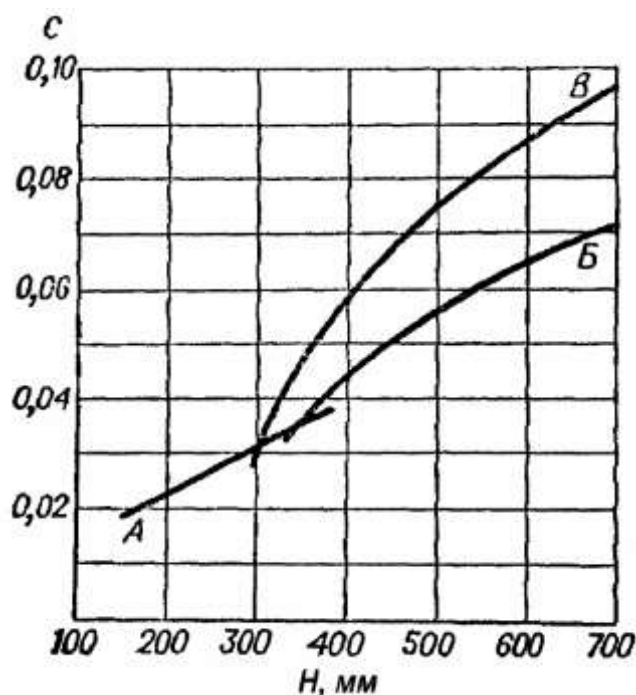


Рисунок 6 – Значення коефіцієнта  $C$ :

А, Б – ковпачкові тарілки; В – ситчасті тарілки

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

$$w_{np} = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ж}}{\rho_{см}}} = 0,055 \cdot \sqrt{\frac{1000}{10,49}} = 0,54 \text{ м/с}$$

Отже робоча (фіктивна) швидкість газу для абсорберів дорівнює:

$$w' = 0,9 \cdot 0,54 = 0,486 \text{ м/с}$$

Діаметр абсорбційної колони розраховується на підставі рівняння об'ємної витрати газу за робочих параметрів:

$$D' = \sqrt{\frac{V_{см}}{0,785 \cdot w'}} = \sqrt{\frac{0,13}{0,785 \cdot 0,486}} = 0,58 \text{ м}$$

Розрахований за рівнянням діаметр колони округляється до найближчого з ряду стандартних циліндричних обичайок, мм: 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600).

Приймаємо  $D = 600$  мм.

Відповідно до новоприйнятого діаметра  $D$  уточнюється робоча швидкість газу в колоні:

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

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

### **Вибір типу ковпачкової тарілки.**

Згідно із додатком 5.2 [5], вибираємо ковпачкову тарілку типу ТСК-I (рис. 7). Технічна характеристика тарілки  $D = 600$  мм наведена у табл. 2.

### **Необхідна кількість тарілок.**

Для тарічастого абсорбера число теоретичних тарілок визначається графічно за діаграмою  $\bar{Y} - \bar{X}$  (рис. 8). Для цього будується ступінчаста лінія, що складається з горизонтальних і вертикальних відрізків, між робочою і рівноважною лініями. Число ступенів відповідає числу теоретичних тарілок.

|      |      |           |        |      |                            |      |
|------|------|-----------|--------|------|----------------------------|------|
|      |      |           |        |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лис- |
| Изм. | Лис- | № докум.№ | Подпи- | Дата |                            | 24   |



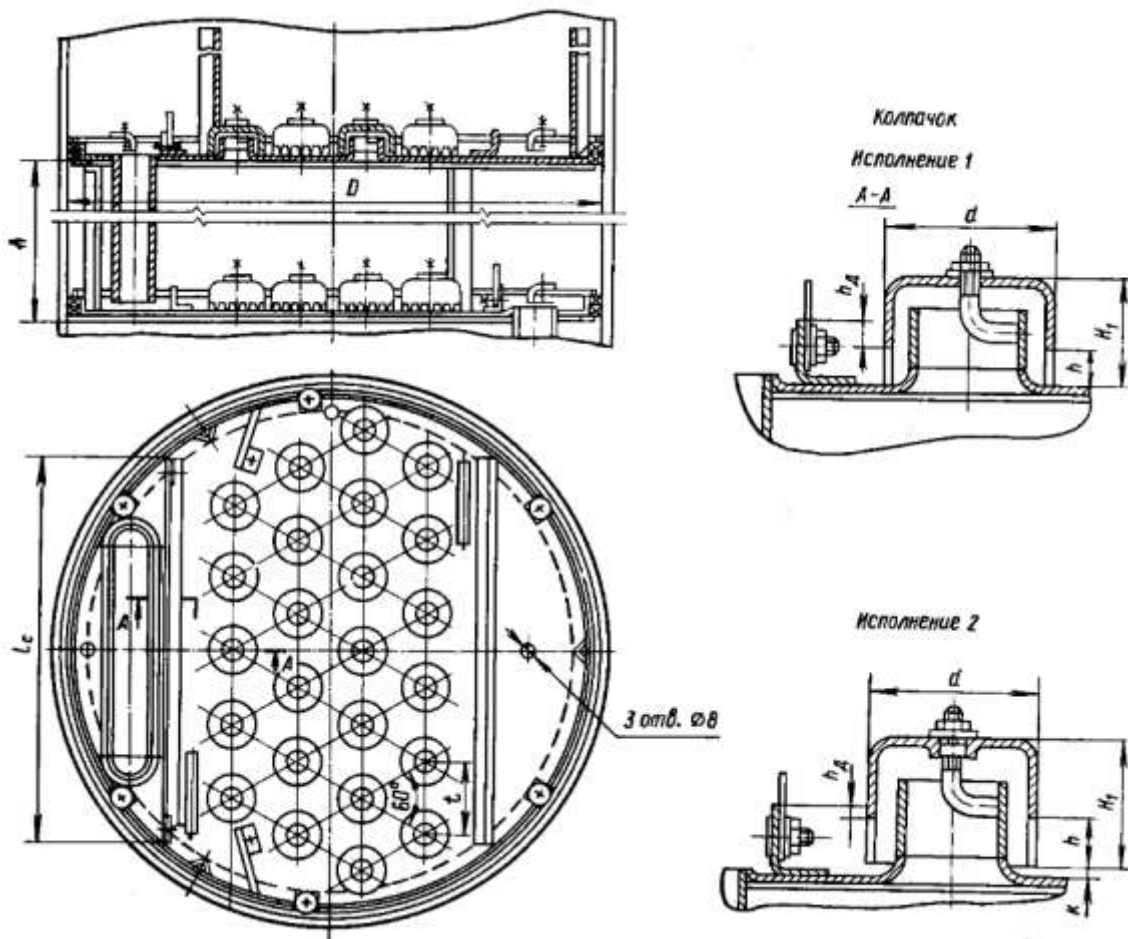


Рисунок 7 – Ковпачкова тарілка типу ТСК-І

Таблиця 2 – Технічна характеристика тарілок типу ТСК-І

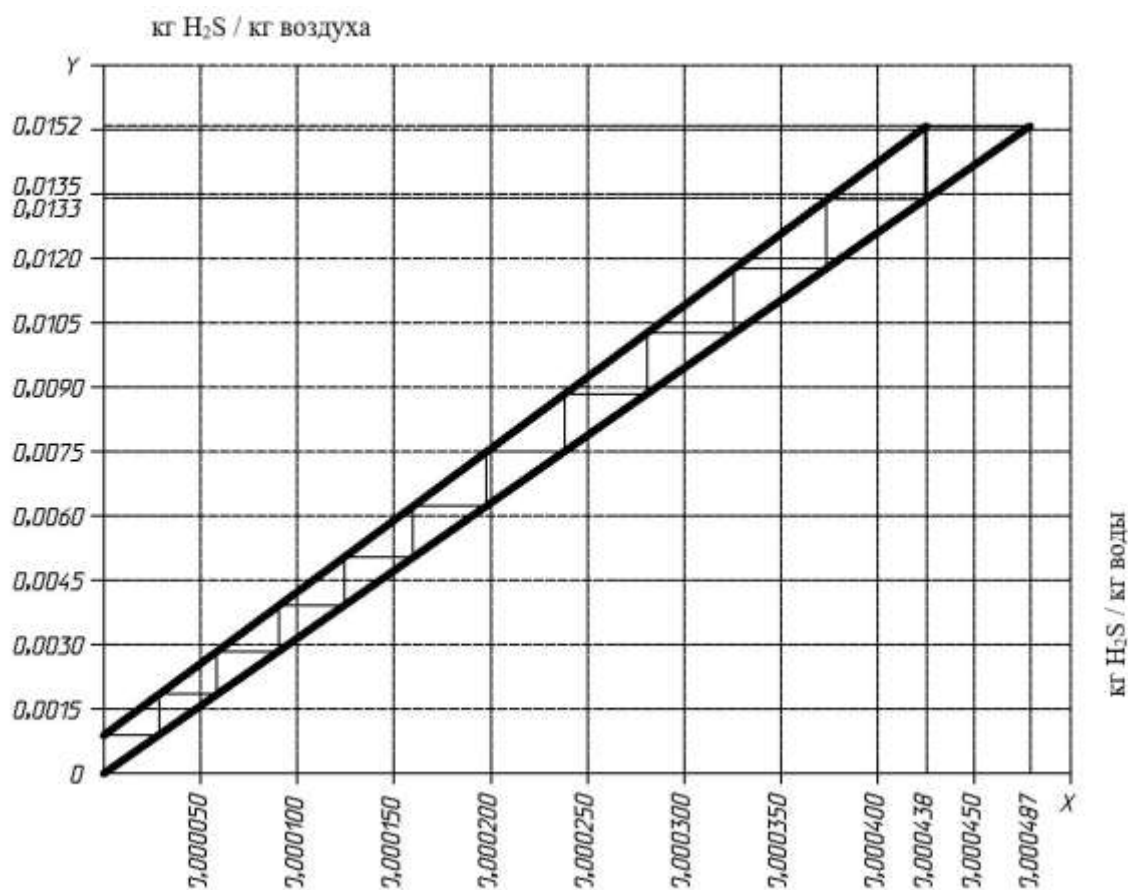
| Найменування параметру | Умове позначення | Одиниці виміру | Величина |
|------------------------|------------------|----------------|----------|
| Діаметр колони         | $D$              | мм             | 600      |
| Робоча площа тарілки   | $f_T$            | $m^2$          | 0,215    |
| Площа проходу парів    | $F_o$            | $m^2$          | 0,027    |
| Площа зливу            | $F_{сл}$         | $m^2$          | 0,012    |
| Діаметр ковпачка       | $d_k$            | мм             | 80       |
| Число ковпачків        | $n$              | шт.            | 13       |
| Висота ковпачка        | $h_n$            | мм             | 55       |
| Висота прорізу         | $h_n$            | мм             | 20       |
| Ширина прорізу         | $b$              | мм             | 4        |
| Периметр зливу         | $L_c$            | м              | 0,48     |
| Маса тарілки           | $m$              | кг             | 21,3     |

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

ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ

Лист

25



**Рисунок 8 – Графічне визначення числа теоретичних тарілок в абсорбери**

Теоретичне число тарілок

$$N_m = 12 \text{ шт.}$$

Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою, так званого, середнього к. к. д. тарілок (к. к. д. колони):

$$N_{\partial} = N_m / \eta$$

Величина середнього к. к. д. тарілок, який вводиться для врахування реальних умов масообміну на тарілках, залежить від багатьох змінних величин (конструкція і розміри тарілки, гідродинамічні фактори, фізико-хімічні властивості газу і рідини) і може бути визначений за графіком (див. рис. 9).

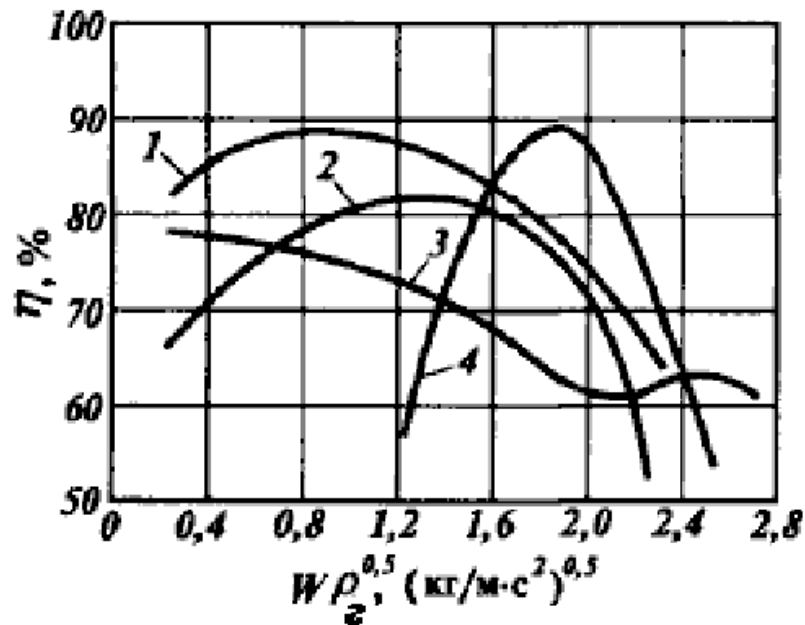


Рисунок 9 – Залежність ефективності тарілок різних конструкцій від фактора навантаження: 1 – клапанна; 2 – ковпачкова; 3 – ситчаста; 4 – провальна решітчаста

Визначаємо фактор навантаження ковпачкової тарілки:

$$w\rho_g^{0,5} = 0,46 \cdot 10,49^{0,5} = 1,49 \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}^2)^{0,5}$$

Тоді  $\eta = 0,77$

$$N_{\partial} = \frac{12}{0,8} = 15,58 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість дійсних тарілок 16 шт.

**Загальна висота апарата.**

Визначимо висоту колони за рівнянням:

$$H_K = H_T + Z_B + Z_H$$

де  $Z_B$  і  $Z_H$  – відповідно висота верхньої і нижньої частин колон, м. Приймаємо, згідно з табл. 3,  $Z_B = 0,6 \text{ м}$  і  $Z_H = 1,5 \text{ м}$ .

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

**Таблиця 3 – Залежність висоти сепараційного простору над тарілкою і відстанню між днищем колони та тарілкою від діаметра колони**

Розміри в мм

| Діаметр колони | $Z_v$ | $Z_n$ |
|----------------|-------|-------|
| 400–1000       | 600   | 1500  |
| 1200–2200      | 1000  | 2000  |
| 2400 і більше  | 1400  | 2500  |

Висота тарілчастої частини колони:

$$H_T = h_{\text{ТД}}(N_{\text{ТД}} - 1)$$

де  $N_{\text{ТД}} = 16$  – число дійсних тарілок, шт;

$h_{\text{ТД}} = 0,5$  м – відстань між тарілками, м;

$$H_T = 0,5 (16 - 1) = 7,5 \text{ м}$$

Тоді визначимо загальну висоту колони:

$$H_K = 7,5 + 0,6 + 1,5 = 9,6 \text{ м}$$

### **Визначення діаметрів штуцерів.**

Приєднання трубної арматури до апарату, а також технологічних трубопроводів проводиться за допомогою штуцерів.

Сталеві штуцера стандартизовані і являють собою патрубки із труб з привареними до них фланцями або ковани заодно із фланцями.

Основними технологічними штуцерами є штуцери для підведення і відведення газової суміші, для підведення і відведення поглинача. Умовний діаметр розраховується, виходячи з об'ємної витрати і рекомендованої швидкості руху середовища.

Розрахунковий діаметр штуцерів для входу і виходу газової суміші  $d_{1,2}$ , м, знаходиться за формулою:

$$d_{1,2} = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w'}}$$

де  $w$  – рекомендована швидкість газової суміші в штуцері [6], м/с.

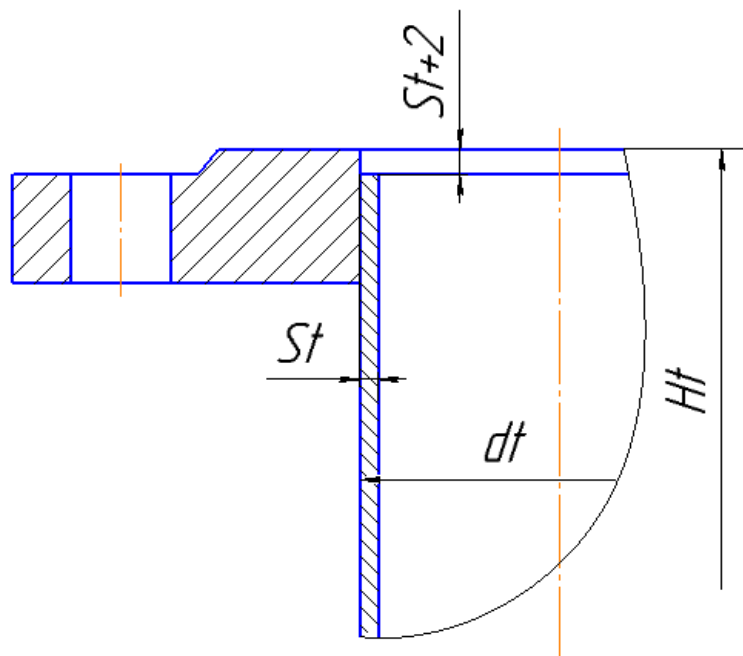
Прийmemo  $w = 20$  м/с.

$$d_{1,2} = \sqrt{\frac{0,13}{0,785 \cdot 20}} = 0,09 \text{ м}$$

Прийmemo стандартний умовний діаметр штуцерів для газової суміші  $d_y = 100$  мм. За ОСТ 26-1404-76 вибираємо основні розміри патрубків (табл. 4; рис. 10), стандартних сталевих фланцевих тонкостінних штуцерів при  $P_y = 1,0$  МПа (табл. 10.2 [8]).

**Таблиця 4 – Основні розміри фланцевих штуцерів  
для введення і виходу газової суміші**

| $D_y$ | $d_T$ | $S_T$ | $H_T$ |
|-------|-------|-------|-------|
| 100   | 108   | 5     | 215   |

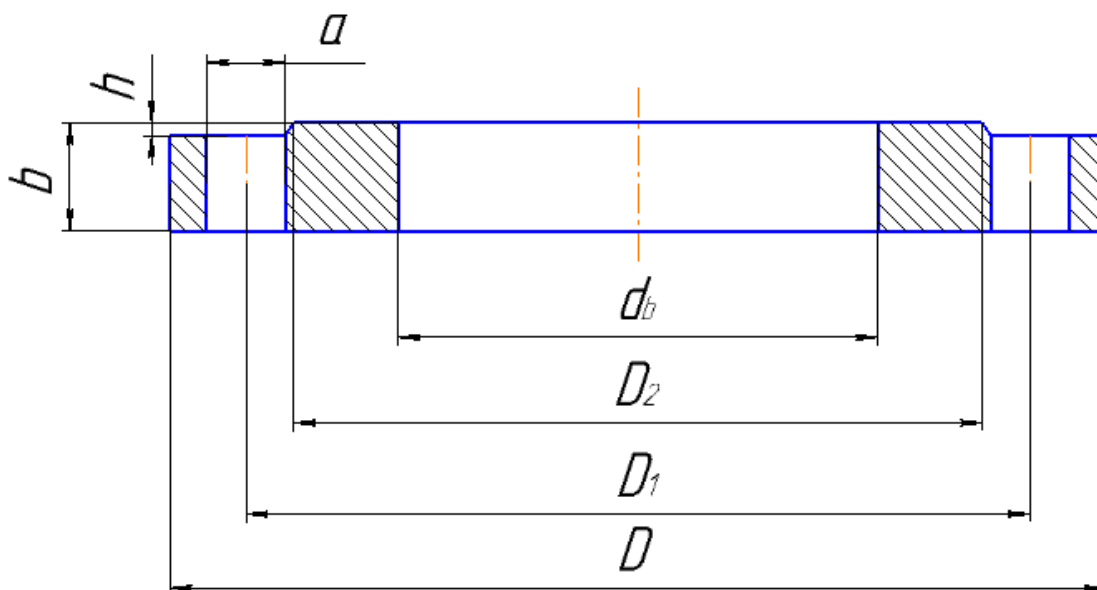


**Рисунок 10 – Конструкції стандартних приварних фланцевих штуцерів**

Виходячи з обраних нами штуцерів до них за ГОСТ 12820-80 вибираємо фланці сталеві плоскі приварні (табл. 5; рис. 11).

**Таблиця 5 – Фланці сталеві плоскі приварні  
для патрубків входу і відведення газової суміші**

| $d_B$ | $D_2$ | $D_1$ | $D$ | $d$ | $b$ | $h$ | $n$ | $m$  |
|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 110   | 158   | 180   | 215 | 18  | 22  | 3   | 8   | 3,56 |



**Рисунок 11 – Конструкції стандартних плоских приварних фланців**

Номинальний діаметр болтів або шпильок М16.

Розрахунковий діаметр штуцерів для входу і виходу поглинача  $d_{3,4}$ , м, знаходиться за формулою:

$$V = \frac{L}{\rho_{ж}} = \frac{43,83}{1000} = 0,044 \text{ м}^3/\text{с}$$

де  $w$  – рекомендована швидкість поглинача в штуцері [6], м/с.

Прийmemo  $w = 2$  м/с.

$$d_{3,4} = \sqrt{\frac{0,044}{0,785 \cdot 2}} = 0,17 \text{ мм}$$

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

Прийmemo стандартний умовний діаметр штуцерів для поглинача  $d_{3,4} = 200$  мм. За ОСТ 26-1404-76 вибираемо основні розміри патрубків (табл. 6; рис. 10), стандартних сталевих фланцевих тонкостінних штуцерів при  $P_y = 1,0$  МПа (табл. 10.2 [8]):

**Таблиця 6 – Основні розміри фланцевих штуцерів для введення і виходу абсорбенту**

| $D_y$ | $d_T$ | $S_T$ | $H_T$ |
|-------|-------|-------|-------|
| 200   | 219   | 6     | 250   |

Виходячи з обраних нами штуцерів до них за ГОСТ 12820-80 вибираемо фланці сталеві плоскі приварні (табл. 7; рис. 11)

**Таблиця 7 – Фланці сталеві плоскі приварні для патрубків входу і відведення абсорбенту**

| $d_B$ | $D_2$ | $D_1$ | $D$ | $d$ | $b$ | $h$ | $n$ | $m$  |
|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 222   | 270   | 295   | 335 | 18  | 21  | 3   | 8   | 8,05 |

Номинальний діаметр болтів або шпильок М20.

### 2.3 Гідравлічний опір апарата

Опір барботажної тарілки розраховують за формулою [12]:

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{\text{гж}}$$

де  $\Delta P_{\text{сух}}$  – опір сухої тарілки;

$\Delta P_{\sigma}$  – опір, що викликається силами поверхневого натягу;

$\Delta P_{\text{гж}}$  – опір газорідного шару на тарілці.

Опір сухої тарілки визначається за рівнянням:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \xi \frac{w_{\text{пр}}^2 \cdot \rho_y}{2}$$

де  $\xi$  – коефіцієнт опору, приймається з табл. 8;

$w_{\text{пр}}$  – швидкість газу в прорізах ковпачка або в отворах тарілки, м/с;

$\rho_y$  – густина газу, кг/м<sup>3</sup>.

**Таблиця 8 – Коефіцієнт опору для різних типів тарілок [12]**

| Тип тарілки                                  | $\xi$   |
|----------------------------------------------|---------|
| Ковпачкова                                   | 4,5–5,0 |
| Ситчасті з вільним перетином отворів 7–10 %  | 1,82    |
| Ситчасті з вільним перетином отворів 11–25 % | 1,45    |
| Решітчаста провальна                         | 1,4–1,5 |

Швидкість газу в прорізах ковпачка визначається за формулою

$$w_{\text{пр}} = \frac{V}{F_0}$$

$$w_{\text{пр}} = \frac{0,13}{0,027} = 4,8 \text{ м/с}$$

Тоді опір сухої тарілки дорівнює:

$$\Delta P_{\text{сух}} = 5 \frac{4,8^2 \cdot 10,49}{2} = 604 \text{ Па}$$

Опір газорідинного шару на тарілці визначається за формулою:

$$\Delta P_{\text{гж}} = 1,3 g k \rho_{\text{ж}} \left( l + \frac{h_n}{2} + \Delta h \right)$$

де  $k = 0,5$  – відношення густини піни до густини рідини;

$l = 0,02$  – відстань від верхнього краю прорізу до зливного порога, м (приймаємо 20 мм);

$h$  – висота рівня рідини над зливним порогом, м.



Висота рівня рідини над зливним порогом визначається за формулою:

$$\Delta h = \left( \frac{V_{\text{ж}}}{1,85 \Pi_{\text{сл}} k} \right)^{2/3}$$

де – об'ємна витрата рідини, м<sup>3</sup>/с.

Об'ємна витрата рідини визначається за формулою:

$$V_{\text{ж}} = \frac{L}{\rho_{\text{ж}}}$$

$$V_{\text{ж}} = \frac{43,83}{1000} = 0,0438 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Висота рівня рідини над зливним порогом складе:

$$\Delta h = \left( \frac{0,0438}{1,85 \cdot 0,48 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 0,2 \text{ м}$$

Опір газорідинного шару на тарілці:

$$\Delta P_{\text{гж}} = 1,3 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot 1000 \cdot \left( 0,02 + \frac{0,02}{2} + 0,2 \right) = 6370 \cdot (0,23) = 1465 \text{ Па}$$

Опір, що викликається силами поверхневого натягу, визначається за формулою:

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d_{\text{э}}}$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини, Н/м, [11]  $\sigma_{\text{H}_2\text{O}} = 73 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ ;

$d_{\text{э}}$  – еквівалентний діаметр отвору, м.

Еквівалентний діаметр отвору для ковпачкових тарілок визначається за формулою:

$$d_{\text{э}} = \frac{4f}{\Pi} = \frac{4bh_n}{2(b + h_n)}$$

де  $b$  – ширина прорізу, м;

|      |      |          |         |      |                     |  |  |  |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |         |      |                     |  |  |  | Лист |
|      |      |          |         |      |                     |  |  |  | 33   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ |  |  |  |      |

$h_n$  – висота прорізу, м (див. табл. 2).

$$d_э = \frac{4bh_n}{2(b + h_n)} = \frac{4 \cdot 0,0004 \cdot 0,02}{2 \cdot (0,004 + 0,02)} = 0,0067 \text{ м.}$$

Опір, що викликається силами поверхневого натягу:

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \cdot 73 \cdot 10^{-3}}{0,0067} = 44 \text{ Па}$$

Повний гідравлічний опір тарілки:

$$\Delta P_T = 604 + 44 + 1465 = 2113 \text{ Па}$$

Перевіримо, чи дотримується прийнята відстань між тарілками  $h = 0,5$  м. Необхідна для нормальної роботи тарілок умова:

$$h_{\text{MT}} > 1,8 \cdot \frac{\Delta P_T}{\rho_{\text{ж}} g} = 1,8 \cdot \frac{2113}{1000 \cdot 9,81} = 0,39 \text{ м}$$

Оскільки  $0,39 < 0,5$ , то вищезазначена умова виконується.

Опір абсорбера:

$$\Delta P_K = N_{\text{ТД}} \cdot \Delta P_T = 16 \cdot 2113 = 33808 \text{ Па}$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

### Розрахунок і підбір насосу для подачі абсорбенту в колону [6].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість течіння рідини, яка дорівнює  $w = 2$  м/с.

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}},$$

де  $V$  – об'ємна витрата суміші, що подається в колону.

$$V = \frac{43,83}{1000} = 0,0438 \text{ м}^3/\text{с};$$

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 34   |

$$d = \sqrt{\frac{0,0438}{0,785 \cdot 2}} = 0,167 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 184 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu},$$

$$\text{Re} = \frac{2 \cdot 0,184 \cdot 1000}{1,004 \cdot 10^{-3}} = 366534,$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,184} = 1,087 \cdot 10^{-3};$$

$$\frac{1}{e} = 920; 360 \cdot \frac{1}{e} = 331200; 10 \cdot \frac{1}{e} = 9200;$$

$$\text{Re} > 360 \cdot \frac{1}{e}.$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re:

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25},$$

$$\lambda = 0,11 \cdot (1,087 \cdot 10^{-3})^{0,25} = 0,020.$$

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

Для всмоктуючої лінії:

1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями)  $\xi_1 = 0,5$ ;

2) 2 коліна з кутом  $90^\circ$   $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$ .

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

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 35   |

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

Для напірної лінії:

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

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

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

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

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

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

$$h_{П.ВС.} = \left( 0,020 \cdot \frac{4}{0,184} + 2,7 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,64 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left( 0,020 \cdot \frac{7,5}{0,184} + 8 \right) \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,8 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П.} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.};$$

$$h_{П.} = 0,64 + 1,8 = 2,44 \text{ м.}$$

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 36   |

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_G + h_{II},$$

де  $(P_2 - P_1)$  – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку, приймаємо, що ця різниця становить 0,1 МПа;

$H_G$  – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = \frac{0,1 \cdot 10^6}{1000 \cdot 9,81} + 7,5 + 2,44 = 20,13 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{II} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H,$$

$$N_{II} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,0438 \cdot 20,13 = 8650 \text{ Вт.}$$

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

$$N = \frac{N_{II}}{\eta_{пер} \cdot \eta_n},$$

де  $\eta_n, \eta_{пер}$  – коефіцієнти корисної дії відповідно насосу і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо  $\eta_n = 0,8$  і  $\eta_{пер} = 1$ .

$$N = \frac{8650}{1 \cdot 0,8} = 10813 \text{ Вт.}$$

Вибираємо відцентровий насос марки НМШ 8-160/28-15 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 160 м<sup>3</sup>/год.; напір насосу 28 м; потужність, яку потребує насосом 15,6 кВт; частота обертів 1850 об/хв.

|      |      |          |         |      |                     |  |  |  |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |         |      |                     |  |  |  | Лист |
|      |      |          |         |      |                     |  |  |  | 37   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ |  |  |  |      |

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

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho};$$

$$V_{EP} = \frac{2630 \cdot 7}{0,82 \cdot 1000} = 22,5 \text{ м}^3.$$

Задамося діаметром ємності  $D = 2,8 \text{ м}$ , тоді її висота буде становити:

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

$$H = \frac{22,5}{0,785 \cdot 2,8^2} = 3,6 \text{ м}.$$

|      |      |          |         |      |                     |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
|      |      |          |         |      | ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                     | 38   |

### 3 Розрахунки апарата на міцність та герметичність

#### 3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Розрахунок циліндричної обичайки, днищ і кришок виконуємо за методикою [13]. Оскільки абсорбер працює в агресивному середовищі, а сірководень є корозійно-активною речовиною, то у якості конструкційного матеріалу для виготовлення основних деталей апарату (а саме: фланців, штуцерів, днищ, обичайок) вибрана сталь 08X18H10T за ГОСТ 5632-72, яка відповідає усім необхідним конструкційним вимогам.

Товщина стінки обичайки (рис. 12):

$$\delta = \frac{DP}{2\sigma\varphi - P}$$

де  $\sigma_d = 168 \text{ МН/м}^2$  – допустиме напруження;

$P = 0,85 \text{ МПа}$  – тиск в абсорбері;

$\varphi = 0,8$  – коефіцієнт ослаблення через зварювальний шов.

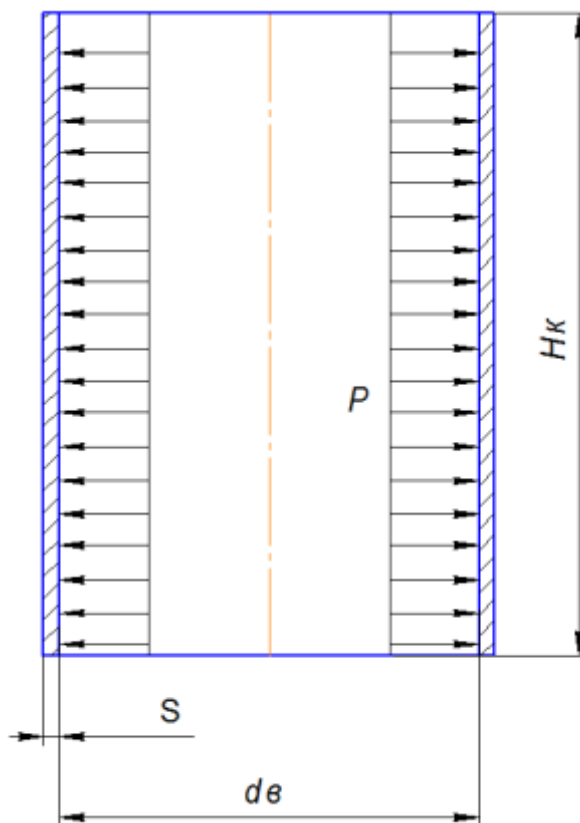


Рисунок 12 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Поправка на корозію та ерозію розраховується:

$$C_k = \Pi \tau_\alpha = 0,0001 \cdot 20 = 0,002 \text{ м}$$

де  $\Pi=0,001$  м/рік – корозійна проникність;

$\tau_\alpha = 20$  років – амортизаційний термін служби апарату.

$$\delta = \frac{DP}{2\sigma\varphi - P} + C = \frac{0,6 \cdot 0,85}{2 \cdot 0,8 \cdot 168 - 0,85} + 0,002 = 0,004 \text{ м}$$

Згідно із рекомендаціями ГОСТ 5285.7-89 приймаємо товщину обичайки з умовним запасом  $\delta = 8$  мм.

Перевірка на допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2\sigma\varphi(\delta - c)}{D + (\delta - c)} = \frac{2 \cdot 168 \cdot 0,8 \cdot (0,008 - 0,002)}{0,6 + (0,008 - 0,002)} = 2,66 \text{ МПа}$$

Оскільки умова  $[P] = 2,66 \text{ МПа} > [P_p] = 0,85 \text{ МПа}$  виконується, то товщина стінки вибрана вірно.

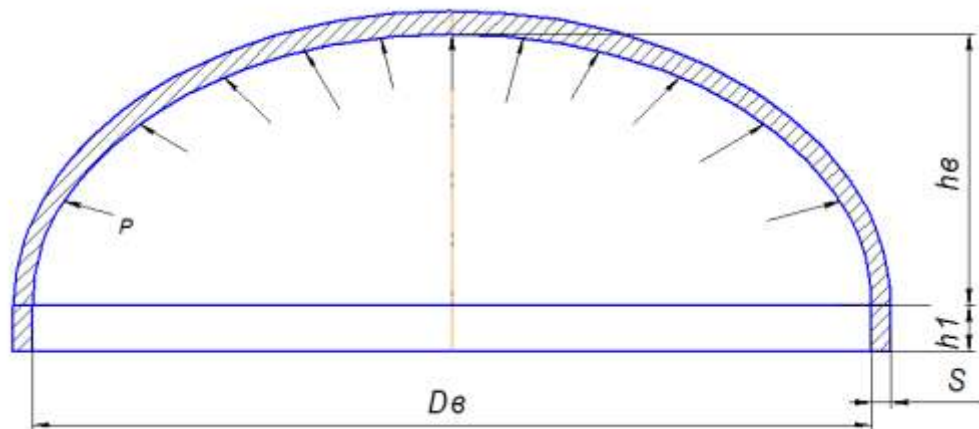
Розрахунок днищ і кришок виконується за ГОСТ 14249-80, СТ СЭВ 1039-78, СТ СЭВ 1048-78, СТ СЭВ 1041-78.

$$\delta_{\text{дн}} = \frac{DP}{2\sigma\varphi - 0,5P} + C = \frac{0,6 \cdot 0,85}{2 \cdot 1 \cdot 168 - 0,5 \cdot 0,85} + 0,002 = 0,0035 \text{ м}$$

де  $\varphi = 1$  – коефіцієнт для днищ, виготовлених з цільної заготовки.

За ГОСТ 6533-78 приймемо товщину стінки днища  $\delta_{\text{дн}} = 8$  мм.

Виходячи з того, що  $D = 600$  мм, вибираємо еліптичне відбортоване днище з легованої сталі: Днище 600-8-150 за ГОСТ 6533-78 (див. рис. 13).



**Рисунок 13 – Розрахункова схема еліптичного відбортованого днища**



Технічні характеристики днища:

Висота борта  $h_1 = 25$  мм;

Висота внутрішня  $H_B = 150$  мм;

Маса днища  $m_D = 28,3$  кг;

Об'єм днища  $V_D = 0,0352$  м<sup>3</sup>.

### 3.2 Розрахунок опори апарата

Установка хімічних апаратів на фундаменті або спеціальні несучі конструкції здійснюється здебільшого за допомогою опор.

Вертикальні апарати, зазвичай, встановлюють на стійках, коли їх розміщують внизу в приміщенні, або на підвісних лапах, коли апарат розміщують між перекриттями в приміщенні або на спеціальних сталевих конструкціях.

У нашому випадку апарат вертикального типу зі співвідношенням  $H/D > 5$ , розміщений на відкритій площадці та оснащений спідничною циліндричною опорою (див. рис. 14).

Виходячи із заданих параметрів вибираємо опору третього типу.

**Визначаємо орієнтовну масу апарату.**

Маса обичайки:

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

де  $D_H = 0,616$  м – зовнішній діаметр колони;

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

$H_{об} = 8,5$  м – висота циліндричної частини колони;

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

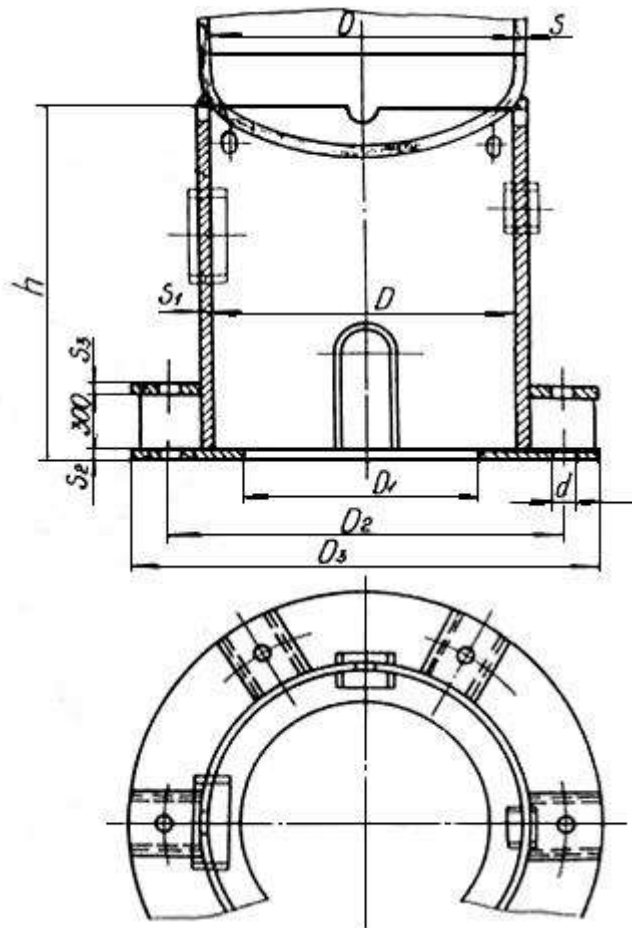
$$m_{об} = 0,785 (0,616^2 - 0,6^2)8,5 \cdot 7850 = 523,8 \text{ кг}$$

**Загальна маса колони.**

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

$$\begin{aligned} m_k &= m_{min} = 1.1(m_{об} + m_T + 2m_D) = \\ &= 1,1(523,8 + 21,3 \cdot 16 + 2 \cdot 28,3) = 1015 \text{ кг} = 9957 \text{ Н.} \end{aligned}$$

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 41   |



**Рисунок 14 – Схематичне зображення циліндричної спідничної опори**

**Маса колони заповненої водою при гідровипробуваннях.**

Маса води при гідровипробуваннях:

$$m_B = 1000(0,785D^2H_{ц.об} + 2V_d) = 1000(0,785 \cdot 0,6^2 \cdot 8,5 + 2 \cdot 0,0352) = 3104 \text{ кг}$$

Максимальна вага колони:

$$m_{\max} = m_K + m_B = 1015 + 3104 = 4119 \text{ кг} = 40407 \text{ Н.}$$

За проведеними розрахунками з табл. 14.10 [5], вибираємо необхідні технічні параметри для нашої опори третього типу (див. табл. 9).

**Таблиця 9 – Діаметри опори апаратf (див. рис. 14)**

| D   | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>Б</sub> |
|-----|----------------|----------------|----------------|
| 600 | 800            | 550            | 720            |

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

ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ

Лист

42

Межа плинності матеріалу повинна бути не менше 210 МПа [6], при температурі 20°C. У нашому випадку ми використовуємо сталь Ст3, оскільки вона має межу плинності 245 МПа.

Далі визначаємо приведені навантаження для визначення основних розмірів опори.

Максимально наведене навантаження приймаємо за навантаження при гідровипробуваннях:

$$Q_{max} = P_1 = 0,040 \text{ МН}$$

де  $P_1$  – осьова стискаюча сила, що діє в нижньому перетині опорної обичайки в режимі гідравлічного випробування.

Мінімально наведене навантаження приймаємо при порожньому апараті:

$$Q_{min} = P_2 = 0,010 \text{ МН}$$

Із отриманих даних визначаємо основні розміри циліндричних опор типу 3 для колонного апарату табл. 14.11 [8] (див. табл. 10).

**Таблиця 10 – 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                  |

## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж апарата [14]

При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається із блоків, а потім приварюється опора. Частина апарата, що стикуються, підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок, які після прихватки стику обрізають.

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

У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 44   |

Тарілка – контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарата (рис. 15).

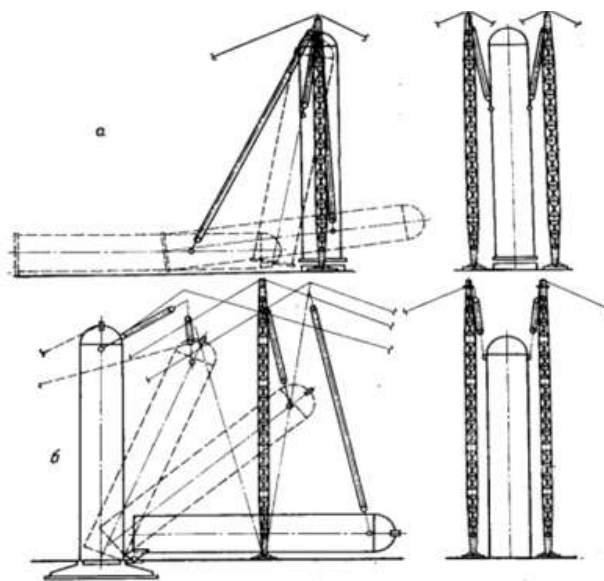


Рисунок 15 – Способи підйому колонного апарата:

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

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

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

|      |      |          |         |      |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                            | 45   |

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз'ємних деталей (карманів, зливів, дисків, глухих сегментів). Зварювання проводять у відповідності до технічних умов, і з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання. Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж. Для цього закриваються всі люки, розташовані нижче контрольованої тарілки, тарілка заливається водою, щоб надмірна кількість води зливалася через зливні пристрої. Злив по всьому периметру повинен бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Товщина шару води на всіх ділянках тарілки повинна бути також однаковою. Після заповнення гідро затворів за допомогою компресора нагнітається повітря. Рівномірність барботажа контролюється візуально.

#### **4.2 Ремонт апарата [14]**

Перед початком ремонту працівники технологічного цеху (оператори) виконують підготовчі роботи. Потім до роботи приступає ремонтний персонал виконавця ремонтних робіт (слюсарі-ремонтники). Як правило, при ремонті колонних апаратів із внутрішніми пристроями тарільчатого типу передбачаються наступні роботи:

- приймання колони в ремонт за актом представником ремонтної організації (майстром ремонтно-механічної бригади).
- перед тим, як безпосередньо приступити до ремонту, необхідно отримати інструктаж з охорони праці, техніки безпеки, газобезпеки, пожежної безпеки і оформити наряд допуску на проведення газонебезпечних робіт всередині колонного апарата.
- керівник ремонтного підрозділу (майстер РМЦ) повинен ознайомитися з результатами підготовчих робіт до ремонту колони або в цілому установки, зазначених в наряді допуску.

|      |      |          |         |      |  |                            |      |
|------|------|----------|---------|------|--|----------------------------|------|
|      |      |          |         |      |  | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |  |                            | 46   |

- отримати дозвіл особи, відповідальної за організацію безпечного проведення газонебезпечних робіт в цеху (начальника або заступника начальника цеху) і приступити до виконання ремонтних робіт.
- відкриття люків-лазів проводять, починаючи із верхнього, а далі послідовно зверху вниз. Забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки-лази, щоб уникнути підсосу повітря в колону і займання пароповітряної суміші.
- працівниками технологічного цеху проводиться відбір проб повітря з усіх люків колони. Результати аналізів на вміст вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних речовин, і на вміст кисню записуються в наряді допуску.
- перед початком ремонту перевіряють температуру повітряного середовища всередині колони, яка не повинна перевищувати 30°C. Під час очистки і розбирання тарілок в колоні працює по двоє людей в кожному люку: один всередині колони у шланговому протигазі з рятувальним поясом і сигнально рятувальною мотузкою; другий спостерігаючий дублер: зовні, поруч із люком, зі шланговим протигазом.

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

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

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

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

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

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

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

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце 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.

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



## 5 Охорона праці

### Нормування та контроль у галузі охорони праці. Система стандартів безпеки праці.

Значне місце в питаннях створення безпечних і здорових умов праці займає розроблення і впровадження нормативної документації в галузі охорони праці. Це правила з техніки безпеки і норми з виробничої санітарії, вимоги вибухобезпеки, пожежобезпеки, електробезпеки і т. д.

Ці вимоги є юридично обов'язковими як для адміністрації, так і для робітників і службовців. При недотриманні цих правил і норм винуватці юридично відповідальні. Види відповідальності: дисциплінарна, адміністративна, кримінальна, матеріальна.

За сферою дії правила і норми з техніки безпеки і виробничої санітарії діляться на:

- а) загальні (єдині);
- б) міжгалузеві;
- в) галузеві.

Загальні, тобто єдині правила і норми поширюються на всі галузі народного господарства і закріплюють найважливіші гарантії безпеки та гігієни праці. Наприклад, всі ДСТУ системи стандартів безпеки праці.

Міжгалузеві правила і норми закріплюють гарантії безпеки або в декількох галузях або на окремих типах устаткування.

Галузеві правила і норми поширюються тільки на окрему галузь виробництва. Містять гарантії безпеки та гігієни праці, специфічні для даної галузі (залізничний, авіатранспорт і т. д.).

До числа норм з техніки безпеки та виробничої санітарії відносять норми, що встановлюють заходи індивідуального захисту працівників від професійних захворювань і виробничих травм. Ці норми, зокрема, передбачають таке: на роботах зі шкідливими умовами праці, а також тих, що виконуються

|      |      |          |         |      |                     |  |  |  |  |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|--|--|--|--|------|
|      |      |          |         |      |                     |  |  |  |  | Лист |
|      |      |          |         |      |                     |  |  |  |  | 49   |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата | ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ |  |  |  |  |      |

в особливих температурних умовах, або пов'язаних із забрудненням, робітникам і службовцям видаються безкоштовно згідно з встановленими нормами спецодяг, спеціальне взуття і інші засоби індивідуального захисту. Вони є власністю підприємства, яке повинне організувати зберігання, чищення і ремонт їх. У свою чергу, робітники і службовці зобов'язані користуватися в робочий час видаваними їм ЗІЗ.

На роботах, пов'язаних із забрудненням, робітникам і службовцям видається безкоштовно згідно з встановленими нормами мило (400 г на місяць). На роботах, де можливий вплив на шкіру шкідливо діючих речовин, видаються безкоштовно згідно з встановленими нормами засобами для змивання і знешкодження.

В Україні затверджено положення про створення державних нормативних актів з охорони праці – (ДНАОП). Це норми, інструкції, вказівки та інші види державних нормативних актів з охорони праці, обов'язкові для виконання і дотримання усіма підприємствами і установами, затверджені ДНАОП, вносяться до Державного реєстру, який видає Держнаглядохоронпраці. ДНАОП кодуються. Промисловість України кодується згідно з класифікатором за галузями і підгалузями чотиризначним кодом.

Приклад кодування для міжгалузевих нормативних актів:

ДНАОП 0.00 – 3.05 – 97 назва документа,  
де ДНАОП – скорочена назва нормативного акта; 0.00 – державні органи, які затвердили нормативний акт.

Існують такі шифри державних органів:

- 0.00 – Держнаглядохоронпраці;
- 0.01 – Пожежна безпека (МНС);
- 0.02 – Безпека руху (МВС);
- 0.03 – Міністерство охорони здоров'я;
- 0.04 – Держатомнагляд;
- 0.05 – Міністерство праці України;
- 0.06 – Держстандарт;

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

## 0.07 – Мінбудархітектура.

Види державних нормативних актів:

1 – Правила;

2 – Стандарти;

3 – Норми;

4 – Положення, статути;

5 – Інструкції, керівництва, вказівки;

6 – Рекомендації, вимоги;

7 – Технічні умови безпеки;

8 – Переліки, інші.

05 – Порядковий номер нормативного акта (в межах даного виду);

97 – Рік затвердження.

В Україні розробляються державні стандарти України (ДСТУ), що невдовзі повинні замінити ще частково діючі міждержавні стандарти Системи стандартів безпеки праці (ССБП) як вид нормативно-технічної документації в галузі охорони праці. Її почали впроваджувати після того, як ще в 1970 р. за часів СРСР в промисловості була проведена комплексна перевірка стану документації з техніки безпеки.

Що вона показала?

1. Було більше 1000 документів з техніки безпеки не об'єднаних однією системою.

2. Документи з охорони праці не мали директивного характеру, серед них переважали галузеві норми і правила.

3. Документи з охорони праці мали ряд недоліків: видані десятки років тому, вони залишалися незмінними і в них не були враховані нові напрями розвитку науки і техніки (часто суперечили один одному).

4. Був відсутній єдиний план створення документації.

5. Було відсутнє нормативне забезпечення (що вимірювати, з чим порівняти і головне чим вимірювати).

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

6. Не було комплексного підходу до створення документації з охорони праці. Це була обмежена документація тільки з техніки безпеки (ТБ) - вона рекомендувала, як поводитися при небезпечному устаткуванні. В проектно-конструкторській документації безпека не враховувалася.

7. Охорона праці не мала своєї термінології. Тому в державну систему стандартів був введений додатковий клас – ССБТ № 12.

Із 1977 року вимоги безпеки стали стандартними. В конструкторській документації став обов'язковим розділ техніки безпеки.

Існуючі на цей час ДСТУ, що належать до ССБТ, діють як міждержавні стандарти. Вони мають шифр системи 12 і поділяються на 5 кваліфікаційних груп, яким надано такі шифри (шифри підсистем):

- 1) організаційно-методичні стандарти – 0;
- 2) стандарти вимог і норм за видами небезпечних і шкідливих виробничих чинників – 1;
- 3) стандарти вимог безпеки до виробничого обладнання – 2;
- 4) стандарти вимог безпеки до виробничих процесів – 3;
- 5) стандарти вимог до засобів захисту працівників – 4.

Приклад позначення міждержавного стандарту:

ДСТУ 12.1.005-88 ССБП “Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони” (у зв’язку з тим, що стандарти не перекладалися українською мовою, вживається російський варіант).

Крім ДСТУ, і ДНАОП, в Україні діють санітарні норми (СН), в яких наведені вимоги стосовно виробничої санітарії; будівельні норми і правила (СНіП – будівельні норми і правила – застосовується російська аббревіатура), де викладені вимоги до будівель та споруд залежно від їх призначення і пожежної безпеки. При розгляді питань пожежної безпеки можуть траплятися посилання на ОНТП – галузеві норми технологічного проектування (рос.) або ISO – міжнародні норми, які діють в Україні згідно з Угодою про міжнародне співробітництво держав СНД з питань охорони праці.

|             |             |                 |                |             |                            |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
|             |             |                 |                |             | <b>ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Изм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Подпись</i> | <i>Дата</i> |                            | 52          |

Правила і норми в галузі охорони праці виконують свої функції лише в тому випадку, якщо організований контроль їх виконанням.

До органів, які здійснюють нагляд і контроль дотримання законодавства про працю і правил з охорони праці, відносять спеціально уповноважені на те державні організації. Серед них:

- Держкомітет України з нагляду за охороною праці у складі Міністерства праці;
- Держкомітет України з ядерного і радіаційного захисту;
- Органи державного пожежного нагляду Управління пожежної охорони МНС України;
- Органи санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я України.

В своїй діяльності вони не залежать від адміністрації підприємств (установ) і їх вищих органів управління.

Вищий нагляд за точним виконанням законів про працю, у тому числі про охорону праці всіма міністерствами і відомствами, підприємствами і посадовцями, здійснює Генеральний прокурор України через органи прокуратури.

Громадський контроль за дотриманням вимог охорони праці здійснюють трудові колективи через вибраних представників [15].

Система стандартів безпеки праці (ССБП) – це комплекс взаємозв'язаних стандартів, спрямованих на забезпечення безпеки праці, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці. Розробка стандартів здійснюється на основі глибоких наукових досліджень, новітніх досягнень науки і техніки вченими, спеціалістами різних галузей народного господарства, працівниками служб охорони праці.

Стандарти безпеки праці поділяються на міждержавні (ГОСТ), державні (ДСТУ), міжгалузеві (ГСТУ), галузеві (ОСТ), стандарти підприємств (СТПССБП). Державні стандарти охорони праці – це норми і правила, що поширюються на всі галузі господарства незалежно від форми власності та виду діяльності: будівельні, санітарні норми й правила; правила розміщення

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

електроустановок споживачів; правила дорожнього руху; положення «Про розслідування та облік нещасних випадків» тощо.

Міжгалузеві норми і правила – це такі норми й правила, що регламентують охорону праці в кількох галузях або в окремих видах виробництв.

Галузеві норми і правила розробляються на основі загальнодержавних, міжгалузевих законодавчих актів, норм та правил з урахуванням специфіки виробництва для певної галузі господарства. Вони поширюються лише на підприємства й установи даної галузі.

Державні та галузеві стандарти України, чинні станом на 1 січня 2001 р., наведено в офіційному виданні Держстандарту України «Каталог нормативних документів – 2001 р.», міждержавні стандарти, чинні станом на 1 березня 2001 р. – у нумераційному покажчику / «Міждержавні стандарти – 2001 р.».

Державні, міжгалузеві і галузеві нормативні акти, стандарти, технічні умови охорони праці переглядаються в міру впровадження досягнень науки і техніки, але не рідше одного разу на 10 років.

Стандарти підприємств з безпеки праці є складовою системи стандартів безпеки праці. На підприємствах загальне керівництво розробкою стандартів здійснює керівник (власник) чи головний інженер, організаційно-методичне керівництво покладено на служби стандартизації за участю служб охорони праці. Створюються такі стандарти підприємств з безпеки праці:

- організаційно-методичні, які визначають організацію роботи з охорони праці на підприємстві, організацію навчання та інструктаж працівників з безпеки праці, порядок нагляду за об'єктами підвищеної небезпеки, порядок проведення аналізу травматизму тощо;
- вимоги безпеки до виробничого устаткування;
- вимоги безпеки до технологічних процесів;
- вимоги до забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (вимоги до організації забезпечення працівників засобами індивідуального захисту і до експлуатації цих засобів, порядок видачі індивідуальних засобів захисту тощо).

Для забезпечення безпеки праці стандарти підприємств мають важливе значення. Вони виконують такі функції:

- є законом підприємства, що підвищує відповідальність керівників та відповідних служб за охорону праці;
- дозволяють упорядкувати і систематизувати вимоги безпеки до устаткування, технологічних процесів;
- дають можливість зосередити увагу не тільки на виявленні причин травматизму і профзахворюваності, а й на створенні умов для зниження травматизму та профзахворюваності.

Впровадження стандартів на підприємствах, в установах та організаціях полягає в конкретній реалізації їх вимог у забезпеченні безпеки праці. Стандарти використовуються згідно з комплексними заходами щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці й виробничої санітарії, розроблених на основі обстеження устаткування, технологічних процесів, фактичного санітарно-технічного та протипожежного стану робочих місць [16].

|             |             |                 |                |             |                            |             |
|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|----------------------------|-------------|
|             |             |                 |                |             | <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> |                            | 55          |

## Список літератури

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
2. Машины и аппараты химических производств / Под ред. д-ра техн. наук, проф. И.И. Чернобыльского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1974. – 456 с.
3. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: В 2 кн. – М. : Химия, 1981. – Кн. 2. – 726 с.
4. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М. : Химия, 1973. – 752 с.
5. Расчет абсорбционных установок : методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплинам «Процессы и аппараты химических технологий», «Гидравлика и теплотехника» для студентов всех форм обучения / Под ред. Т. Л. Леканова, Е. Г. Казакова, 2009. – 82 с.
6. 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.
7. Справочник химика / Под ред. Б.И. Никольского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., Л.: Химия, 1966. – Т. 5. – 713 с.
8. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Л. : Машиностроение, 1970. – 752 с.
9. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Л. : Машиностроение, 1981. – 382 с.
10. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – М. : Машиностроение, 1989. – 640 с.

|      |      |          |         |      |                     |      |
|------|------|----------|---------|------|---------------------|------|
|      |      |          |         |      | ПОХНВ.А.00.00.00 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Подпись | Дата |                     | 56   |



11. 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.

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

13. 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.

14. 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.

15. Нормування і контроль у галузі охорони праці. Предмет «Охорона праці» і його місце серед інших наук [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ref.online-books.net.ua/major/246/7292/>.

16. Основи охорони праці. Тема 5.3 – Система стандартів безпеки праці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://library.if.ua/book/86/6063.html>.

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