

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Сумський державний університет**

**Шосткинський інститут**

Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віта СЕРЕДА  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування \_\_\_\_\_,  
(код та назва)

освітньо-професійної програми « Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів»

на тему: Виробництво гідрохінону. Розробити насадковий абсорбер для поглинання аміаку із суміші його з повітрям продуктивністю 10000 м<sup>3</sup>/годину.

Здобувача ХМ-01ш  
(шифр групи)

Бекаурі Піруза  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Бекаурі Піруз

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник к.т.н Сергій Романько

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Співкерівник \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_ (підпис)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 56 с., 3 рисунки, 3 таблиці, 6 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема установки, складальне креслення апарата, складальні креслення вузлів, всього 4 аркуші формату А1.

Тема проекту: «Виробництво гідрохінону. Розробити насадковий абсорбер для поглинання аміаку із суміші його з повітрям продуктивністю 10000 м<sup>3</sup>/годину.»

Приведена технологічна схема установки, а також будова і принцип роботи апарату. Робота містить теоретичні основи процесу абсорбції, виконані технологічні розрахунки і розрахунки на міцність, які підтверджують працездатність і надійність роботи апарату.

Надана інформація щодо монтажу апарата та наведені основні вимоги щодо охорони праці.

Ключові слова: АБСОРБЦІЯ, НАСАДКОВА КОЛОНА, ГІДРОХІНОН, АМІАК, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, РОЗРАХУНОК.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної установки	6
1.2 Теоретичні основи процесу	7
1.3 Опис конструкції апарата і вибір основних конструктивних матеріалів	8
2 Технологічні розрахунки	12
2.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки	12
2.2 Конструктивні розрахунки	17
2.3 Гідравлічний опір апарата	23
2.4 Вибір допоміжного обладнання	24
3 Розрахунки апарату на міцність і герметичність	30
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки	30
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання	32
3.3 Розрахунок і вибір опори	40
4 Монтаж та ремонт апарата	42
4.1 Монтаж розробленого апарата	42
4.2 Ремонт апарата	44
5 Охорона праці та техніка безпеки	46
5.1 Вимоги до обладнання	47
5.2 Мікроклімат	48
5.3 Освітлення	49
5.4 Шум та вібрація	50
5.5 Електробезпека	50
5.6 Пожежна безпека	51
ВИСНОВКИ	52
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	53

## ВСТУП

Виробництво хімічних речовин є однією з ключових галузей промисловості, що забезпечує матеріальні потреби багатьох інших секторів економіки. Однією з важливих сполук, що знаходить широке застосування в різних галузях, є гідрохінон. Гідрохінон використовується в фотографії, як антиоксидант у харчовій промисловості, в виробництві гуми та пластмас, а також у косметології як засіб для освітлення шкіри.

Процес виробництва гідрохінону супроводжується утворенням побічних продуктів та газових викидів, серед яких може бути аміак. Аміак є токсичною речовиною, що викликає значне забруднення повітря та негативно впливає на здоров'я людини і довкілля. Тому важливою задачею є розробка ефективних методів очищення газових викидів від аміаку.

Одним із найбільш ефективних методів видалення аміаку з газових сумішей є абсорбція. Абсорбція – це масообмінний процес поглинання однієї речовини іншою. У промисловості абсорбція може відноситися до поглинання молекул газу чи рідини твердим тілом чи рідиною. Для реалізації цього процесу у промислових масштабах використовуються абсорбери. Залежно від конструкції та принципу дії, абсорбери поділяються на кілька типів, серед яких особливе місце займають насадкові абсорбери.

# 1. Технологічна частина

## 1.1 Опис технологічної установки

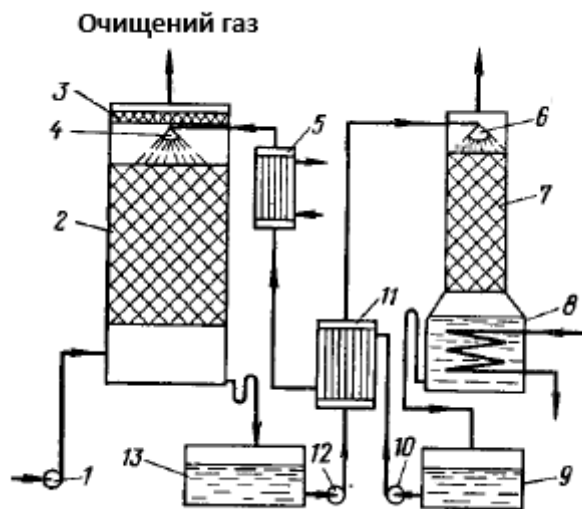


Рисунок 1.1 – Принципова схема абсорбційної установки:

1 – вентилятор (газодувка); 2 – абсорбер; 3 – бризковідбійник; 4, 6 – зрошувачі; 5 – холодильник; 7 – десорбер; 8 – куб десорбера; 9, 13 – ємності для абсорбента; 10, 12 – насоси; 11 – теплообмінник-рекуператор

Газ для абсорбції подається газодувкою (рис. 1, 1) в нижню частину колони (2), де рівномірно розподіляється перед тим, як потрапити на контактний елемент. Абсорбент із проміжної ємності (10) насосом подається у верхню частину колони і рівномірно розподіляється по поперечному перерізу абсорбера за допомогою зрошувача (4). У колоні відбувається протиточна взаємодія газу та рідини. Очищений газ виходить із колони після проходження через бризковідбійник (3). Абсорбент стікає через гідрозатвор у проміжну ємність (13), звідки насосом (12) спрямовується на регенерацію в десорбер (7), попередньо підігрівшись у теплообміннику-рекуператорі (10). Вилучення поглиненого компонента з абсорбера здійснюється в кубі (8), що обігрівається, зазвичай насиченою водяною парою. Перед подачею на зрошення колони абсорбент, після проходження через теплообмінник-рекуператор (10), додатково охолоджується в холодильнику (5).

## 1.2 Теоретичні основи процесу [1]

Абсорбція є одним з найпоширеніших методів очищення газових викидів від шкідливих домішок. В основі цього процесу лежить фізико-хімічна взаємодія між газоподібною і рідкою фазами, що приводить до переносу маси компонентів газової суміші в рідку фазу.

Розчинність газів у рідинах залежить від властивостей самого газу і рідини, а також від температури і парціального тиску розчиняемого газу в газовій суміші.

Для багатьох систем із низькою концентрацією компонента в рідкій фазі, щоб знайти співвідношення між рівноважними концентраціями, можна використовувати закон Генрі:

$$p^* = Ex,$$

де  $p^*$  - парціальний тиск компонента в газовій фазі над рівноважною з газом рідиною;  $E$  – коефіцієнт Генрі, який залежить від температури та природи газу й рідини;  $x$  – мольна частка компонента в рідині.

Відповідно до закону Дальтона  $p^* = P \cdot y$ . Отже,

$$y^* = \frac{E}{p} \cdot x,$$

де  $p$  – загальний тиск газової суміші,  $y^*$  - рівноважна концентрація ва газовій фазі.

Цьому рівняння можна надати вигляд:

$$y^* = tx,$$

де  $t$  – коефіцієнт розподілу компоненту між фазами. Для систем, які підпорядковуються закону Генрі,  $t = E/p$  – постійна величина, і рівноважна залежність прямолінійна.

Рівноважний склад фаз у мольних частках  $y^*$ ,  $x$  перераховують у відносні мольні концентрації  $Y^*$ ,  $X$  або у відносні масові концентрації  $\bar{Y}^*$ ,  $\bar{X}$ . По знайденим значенням будують лінію рівноваги.

Якщо система газ – рідина не підпорядковується закону Генрі, рівноважну криву будують згідно з дослідними даними і величину  $m$  із достатньою точністю знаходять випрямленням ділянок кривої рівноваги, тобто заміною кривої рівноваги ламаною лінією. Тоді

$$m = (m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_i)/i,$$

де  $m_1, m_2, m_3 \dots$  – тангенси кутів нахилу прямих на окремих ділянках,  $i$  – кількість прямолінійних ділянок ламаної лінії.

Середній нахил лінії рівноваги можна визначити як нахил хорди, проведеної через точки  $M$  і  $N$ , що обмежують робочу ділянку лінії рівноваги:

$$m = \frac{\bar{Y}_1^* + \bar{Y}_2^*}{\bar{X}_2 + \bar{X}_1}.$$

### **1.3 Опис конструкції апарата і вибір основних конструктивних матеріалів**

Процеси абсорбції здійснюються у колонних апаратах (рис.2). Колонний апарат складається з корпусу (7), на якому встановлені патрубки (1, 2, 5, 6) вводу і виводу взаємодіючих фаз і контактних елементів (8). Для покращення розподілу взаємодіючих фаз в нижній частині колони розташовують розподільник газу (пару) (9), у верхній – розподільник рідини (3) і сепараційний пристрій (4). Основний об'єм тепломасообмінної колони займають контактні елементи.

Насадкові абсорбери представляють собою колони, наповнені насадкою у вигляді тіл різних форм (кільця, шматки матеріалу, дерев'яні решітки тощо). Зіткнення газу з рідиною відбувається на змоченій поверхні насадки, по якій стікає зрошуюча рідина. Площа насадки на одиницю об'єму апарату може бути

значною, що дозволяє створювати великі поверхні масопередачі в порівняно невеликих об'ємах. Проте, в деяких випадках активна поверхня контакту виявляється меншою за геометричну поверхню.

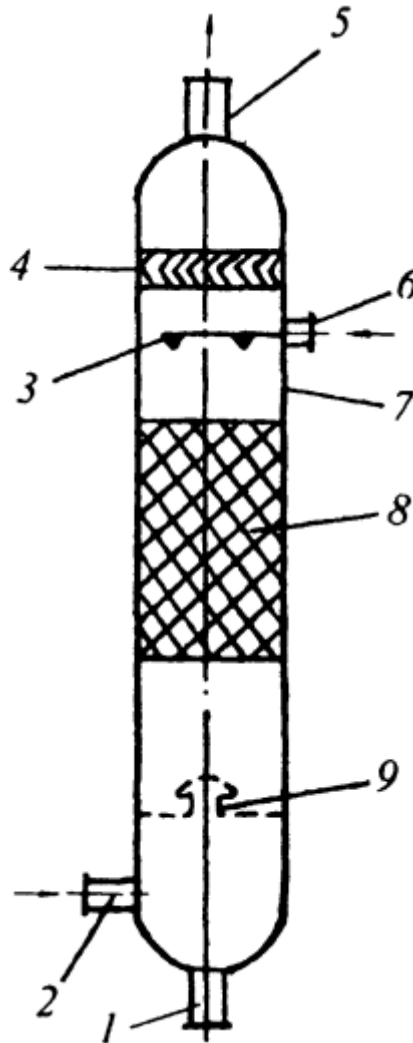


Рисунок 1.2 – Схема тепломасообмінного колонного апарату

Для ефективної роботи насадкових колон необхідно забезпечити максимально рівномірний розподіл рідини по всьому перерізу колонни. Досягти цього можна за рахунок однорідності форми і розмірів насадки, максимально можливої швидкості потоку газу, а також вертикальної установки колонни. Дослідження показали, що початкова рівномірність розподілу рідини поступово порушується під час її руху, оскільки газ витісняє рідину до периферії, займаючи центральну зону шару насадки. Щоб вирішити цю проблему у високих колонах, насадковий шар поділяють на кілька менших



шарів, розділених вільним простором. Кожен шар насадки розміщується на опорних ґратах, які повинні мати мінімальний гідравлічний опір і достатню механічну міцність для витримування ваги насадки і рідини. Опорні ґрати виготовляються з колосників товщиною 4-10 мм і висотою 50 мм з вуглецевої або легованої сталі. Ширина проміжків між колосниками має бути не більше 0,6-0,7 від найменшого розміру елемента насадки. Колосники з'єднуються між собою дистанційними втулками і стягуються шпильками.

Також над кожним шаром насадки встановлюються розподільні тарілки, які сприяють рівномірному зрошенню насадки та забезпечують рівномірний розподіл газу по перерізу колони. Ці тарілки представляють собою сталеві диски з обідком, з отворами, в які вмонтовані переливні патрубки, що мають вертикальні прорізи для рівномірного розподілу переливасмої рідини по всьому перерізу. Кількість патрубків визначається залежно від діаметра колони. У верхній частині колони встановлюється зрошувальна тарілка, яка забезпечує рівномірний розподіл зрошувальної рідини. Конструкція зрошувальної тарілки подібна до розподільчої, але має зливну склянку в центрі, з'єднану зі вступним штуцером рідини.

Вибір конструкційного матеріалу для проектованого елемента, вузла або апарата повинен враховувати умови експлуатації, такі як температура, тиск, величина навантаження, агресивність середовища, вимоги до якості оброблюваного продукту тощо. Важливо, щоб матеріал був недорогим, доступним і сприяв ефективній технології виготовлення елемента.

Для забезпечення умов роботи апарату прийнята корозійностійка сталь аустенітного класу 12X18H10T. Введення нікеля (Н) у складі сплаву, що містить хром (Х), підвищує опір крихкому руйнуванню, підвищує пластичність і в'язкість, зменшує чутливість до концентраторів напружень і знижує температуру порогу холодноламкості, підвищує якість зварювання. Наявність титану (Т) у структурі сплаву подрібнює зерно, що забезпечує рівномірність розподілення фізико-механічних властивостей по матеріалу.

Для забезпечення умов роботи апарата приймаємо корозійностійку сталь аустенітного класу 12X18H10T. Введення нікелю (Н) до складу сплаву, що містить хром (Х), покращує опір крихкому руйнуванню, підвищує пластичність і в'язкість, зменшує чутливість до концентраторів напружень та знижує температуру порогу холодноламкості, а також покращує якість зварювання. Присутність титану (Т) у сплаві сприяє подрібненню зерна, що забезпечує рівномірний розподіл фізико-механічних властивостей по матеріалу (таблиця 1.1).

Недоліком цієї сталі є те, що вона погано піддається обробці, через велику в'язкість. Але в нашому випадку необхідність обробки є тільки у місцях стику зварюваних елементів конструкції, тому недолік не являється суттєвим.

Таблиця 1 – Хімічний склад і механічні властивості сталі 12X18H10T

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	E·10 <sup>5</sup> МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,1	2	0,8	17- 18	2-11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	215	530	40

Матеріалом для зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів та інших частин, що не контактують з оброблюваним середовищем, обрано конструкційну сталь 20, бо вона має порівняно низьку вартість, гарну оброблюваність та достатньо високі фізико-механічні властивості (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Хімічний склад і механічні властивості сталі 20

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	E·10 <sup>5</sup> МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,1	2	0,8	17- 18	2-11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	215	530	40

## 2 Технологічні розрахунки

### 2.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки

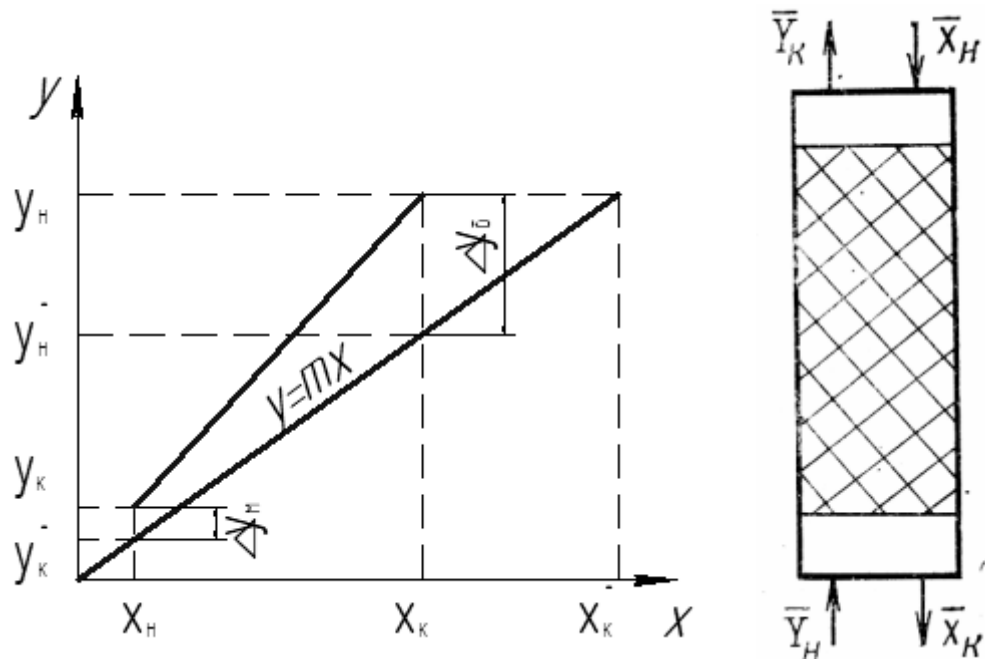


Рисунок 2.1 – Схема до технологічного розрахунку абсорбера і діаграма

Матеріальний баланс абсорбера характеризується рівнянням:

$$M = G(Y_1 - Y_2) = L(X_1 - X_2), \quad (2.1)$$

де  $G$  – кількість інертного газу, кг/с;

$L$  – кількість поглиначя, кг/с;

$Y$  – вміст компонента в газовому середовищі, кг/кг;

$X$  – вміст компонента в рідкій фазі, кг/кг.

Секундна витрата газоповітряної суміші на вході у апарат:

$$V_{\text{п}} = \frac{10000}{3600} = 2,78 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2.2)$$

Кількість аміаку, що абсорбується з газоповітряної суміші у одиницю часу:

у кіломолях

$$M = \frac{V}{22,4} y_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}}; \quad (2.3)$$

$$M = \frac{2,78}{22,4} \cdot 0,15 \cdot 0,98 = 0,018 \text{ кмоль/с};$$

у кілограмах

$$\bar{M} = M \cdot M_{\text{А}}, \quad (2.4)$$

де  $M_{\text{А}} = 17$  – молекулярна маса аміаку,

$$\bar{M} = 0,018 \cdot 17 = 0,306 \text{ кг/с}.$$

Відносна масова концентрація аміаку у газовій фазі на вході в апарат:

$$\bar{Y}_{\text{п}} = \frac{M_{\text{А}} y_{\text{п}}}{M_{\text{п}} \cdot (1 - y_{\text{п}})}, \quad (2.5)$$

де  $M_{\text{п}} = 29$  – молекулярна маса повітря.

$$\bar{Y}_{\text{п}} = \frac{17 \cdot 0,15}{29 \cdot (1 - 0,15)} = 0,103 \frac{\text{кг А}}{\text{кг П}}.$$

Відносна масова концентрація аміаку в газовій суміші на виході з апарату

$$\bar{Y}_{\text{к}} = \bar{Y}_{\text{п}} (1 - c_{\text{п}}), \quad (2.6)$$

$$\bar{Y}_{\text{к}} = 0,103 \cdot (1 - 0,98) = 0,002 \frac{\text{кг А}}{\text{кг П}}.$$

Мольна доля аміаку в газовій суміші на виході з апарату:

$$y_{\text{к}} = \frac{M_{\text{А}} \bar{Y}_{\text{к}}}{M_{\text{А}} \bar{Y}_{\text{к}} + M_{\text{п}}}, \quad (2.7)$$

$$y_{\text{к}} = \frac{17 \cdot 0,002}{17 \cdot 0,002 + 29} = 0,001 \frac{\text{кмоль А}}{\text{кмоль} \cdot \text{суміші}}.$$

Масова витрата чистого повітря:

$$\bar{G} = \frac{\bar{M}}{\bar{Y}_{\text{п}} - \bar{Y}_{\text{к}}}, \quad (2.8)$$

$$\bar{G} = \frac{0,306}{0,103 - 0,002} = 3,03 \text{ кг/с.}$$

Кількість аміаку, що міститься в газовій фазі на виході з апарату:

$$M_k = \bar{G} \cdot \bar{Y}_k, \quad (2.9)$$

$$M_k = 3,03 \cdot 0,002 = 0,006 \text{ кг/с.}$$

Масова витрата газової фази на виході з апарату:

$$G_{\text{см}} = \bar{G} + M_k, \quad (2.10)$$

$$G_{\text{см}} = 3,03 + 0,006 = 3,036 \text{ кг/с.}$$

Мольна маса газової фази:

$$M_{\text{см}} = M_{\text{АУк}} + M_{\text{П}}(1 - y_k) \quad (2.11)$$

$$M_{\text{сум}} = 17 \cdot 0,001 + 29 \cdot (1 - 0,001) = 28,99 \text{ кг/кмоль.}$$

Густина газової фази:

$$\rho_{\text{см}} = \frac{M_{\text{см}} T_{\text{оР}}}{22,4 T_{\text{р}_0}}, \quad (2.12)$$

$$\rho_{\text{см}} = \frac{28,99 \cdot 273}{22,4 \cdot 293} = 1,21 \text{ кг/м}^3.$$

Об'ємна витрата газової фази на виході з апарату:

$$V_k = \frac{G_{\text{см}}}{\rho_{\text{см}}}, \quad (2.13)$$

$$V_k = \frac{3,036}{1,21} = 2,51 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Коефіцієнт розподілення:

$$m = \frac{E}{\rho}, \quad (2.14)$$

де  $E = 0,136 \cdot 10^4 \text{ мм рт. ст.}$  – коефіцієнт Генрі водного розчиннику аміаку;

$\rho = 760$  мм рт. ст. – стандартний атмосферний тиск,

$$m = \frac{E}{\rho} = \frac{1360}{760} = 1,79.$$

Рівняння лінії рівноваги:

$$y^* = 1,79x. \quad (2.15)$$

Із рівняння лінії рівноваги концентрація аміаку в рідкій фазі на виході із апарату:

$$x_k^* = \frac{1}{m} y_{\text{п}}, \quad (2.16)$$

$$x_k^* = \frac{1}{1,79} \cdot 0,15 = 0,084 \frac{\text{кмоль А}}{\text{кмоль} \cdot \text{см}}.$$

Рівноважна відносна масова доля поглинаемого компонента в рідині на виході з апарату:

$$\bar{X}_k = \frac{M_A x_k^*}{M_B (1 - x_k^*)}, \quad (2.17)$$

де  $M_B = 18$  – молекулярна маса води.

$$\bar{X}_k = \frac{17 \cdot 0,084}{18 \cdot (1 - 0,084)} = 0,087 \frac{\text{кг А}}{\text{кг В}}.$$

Умову протікання процесу абсорбції можна прийняти ізотермічною, тоді лінія рівноваги та робоча лінія мають вигляд прямих ліній.

Витрата рідкого поглинача визначаємо з рівняння матеріального балансу (2.1).

Теоретична мінімальна масова витрата води:

$$\bar{L}_{min} = \frac{\bar{M}}{\bar{X}_k - \bar{X}_{\text{п}}}, \quad (2.18)$$

$$\bar{L}_{min} = \frac{0,306}{0,087 - 0} = 3,52 \text{ кг/с.}$$

Дійсна масова витрата води:

$$\bar{L} = \phi L_{min}, \quad (2.19)$$

де  $\phi > 1$  – коефіцієнт надлишку абсорбента,

$$\bar{L} = 1,5 \cdot 3,52 = 5,28 \text{ кг/с.}$$

Об'ємна витрата води:

$$L_V = \frac{L}{\rho_{ж}}, \quad (2.20)$$

де  $\rho_{в} = 998 \text{ кг/м}^3$  при  $t = 20^\circ\text{C}$ ,

$$L_V = \frac{L}{\rho_{ж}} = \frac{5,28}{998} = 0,0053 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Концентрація аміаку у воді на виході її з апарату визначаємо з рівняння матеріального балансу по аміаку в рідкій фазі:

$$\bar{X}_K = \frac{\bar{M}}{\bar{L}} + \bar{X}_H, \quad (2.21)$$

$$\bar{X}_K = \frac{0,306}{5,28} + 0 = 0,058 \frac{\text{кг А}}{\text{кг В}}.$$

Мольна доля поглинаємого компонента у рідині внизу колони

$$x_K = \frac{M_B \bar{X}_K}{M_B \bar{X}_K + M_A}, \quad (2.22)$$

$$x_K = \frac{18 \cdot 0,058}{18 \cdot 0,058 + 17} = 0,058 \frac{\text{кмоль А}}{\text{кмоль} \cdot \text{сум}}.$$

Визначення рушійної сили процесу абсорбції при прямій лінії рівноваги:

$$\Delta y_{cp} = \frac{\Delta y_6 - \Delta y_m}{2,3 \lg \frac{\Delta y_6}{\Delta y_m}}. \quad (2.23)$$

Рівноважна мольна доля аміаку у газовій фазі на вході у апарат:

$$y_{\text{H}}^* = 1,79x_{\text{K}} = 1,79 \cdot 0,058 = 0,104 \frac{\text{кмоль А}}{\text{кмоль} \cdot \text{сум}}.$$

Рівноважна мольна доля аміаку у газовій фазі на виході з апарату:

$$y_{\text{K}}^* = 1,79x_{\text{H}} = 1,79 \cdot 0 = 0.$$

Найбільша рушійна сила (на вході в апарат газовій фазі):

$$\Delta y_{\text{б}} = y_{\text{H}} - y_{\text{H}}^*, \quad (2.24)$$

$$\Delta y_{\text{б}} = 0,15 - 0,104 = 0,046 \frac{\text{кмоль А}}{\text{кмоль} \cdot \text{сум}}.$$

Найменша рушійна сила (на виході з апарату газовій фазі):

$$\Delta y_{\text{м}} = y_{\text{K}} - y_{\text{K}}^*, \quad (2.25)$$

$$\Delta y_{\text{м}} = 0,001 - 0 = 0,001 \frac{\text{кмоль А}}{\text{кмоль} \cdot \text{сум}}.$$

Тоді, середня рушійна сила процесу:

$$\Delta y_{\text{ср}} = \frac{0,046 - 0,001}{2,3 \lg \frac{0,046}{0,001}} = 0,012 \frac{\text{кмоль А}}{\text{кмоль} \cdot \text{сум}}.$$

Число одиниць переносу по газовій фазі:

$$n_{\text{оу}} = \frac{y_{\text{H}} - y_{\text{K}}}{\Delta y_{\text{ср}}} = \frac{0,15 - 0,001}{0,012} = 12,42. \quad (2.26)$$

## 2.2 Конструктивні розрахунки

У якості насадки використовуємо керамічні кільця Палля, розміром  $35 \times 35 \times 4$  з наступними характеристиками:

- питома поверхня  $a = 165 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ;
- вільний об'єм  $\varepsilon = 0,76 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ;
- еквівалентний діаметр,  $d_e = 0,018 \text{ м}$ ;
- насипна щільність,  $\rho = 540 \text{ кг}/\text{м}^3$ .



Значення коефіцієнтів  $A$  і  $B$  для кілець Палля:  $A = -0,49$ ;  $B = 1,04$ .

Гранична швидкість газового потоку:

$$\lg \left( \frac{\omega_{\text{пр}}^2 a \rho_r \mu_p^{0,16}}{g \varepsilon^3 \rho_p} \right) = A - B \cdot \left( \frac{\bar{L}}{\bar{G}} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{\rho_r}{\rho_p} \right)^{0,125} \quad (2.27)$$

Густину рідкої фази приймаємо рівну густині води при  $t = 20^\circ\text{C}$ .

В'язкість рідкої фази приймаємо рівну в'язкості води при  $t = 20^\circ\text{C}$  (у формулу підставляємо у  $\text{Па}\cdot\text{с}$ ):

$$\mu_{\text{ж}} = 1 \text{ мПа}\cdot\text{с} = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Гранична швидкість

$$\lg \left( \frac{\omega_3^2 \cdot 165 \cdot 1,2 \cdot 0,001^{0,16}}{9,81 \cdot 0,76^3 \cdot 998} \right) = -0,49 - 1,04 \cdot \left( \frac{5,28}{3,03} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{1,2}{998} \right)^{0,125};$$

$$\lg(0,0154 \cdot \omega_3^2) = -1,006; 0,0154 \cdot \omega_3^2 = 10^{-1,006}; \omega_3^2 = 6,4 \text{ м/с};$$

$$\omega_3 = 2,53 \text{ м/с}.$$

Робоча швидкість газу в апараті:

$$\omega = (0,75 \dots 0,9) \cdot \omega_3 = 0,75 \cdot 2,53 = 1,9 \text{ м/с}.$$

Діаметр абсорбційної колони:

$$D = \sqrt{\frac{4V_{\text{ср}}}{\pi\omega}}, \quad (2.28)$$

де  $V_{\text{ср}} = \frac{V_{\text{н}} + V_{\text{к}}}{2} = \frac{2,78 + 2,51}{2} = 2,65 \text{ м/с}$  – середня витрата газової фази через апарат.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot 1,9}} = 1,333 \text{ м}.$$

Приймаємо стандартне значення  $D = 1400$  мм, тоді дійсна швидкість газу в колоні:

$$\omega = \frac{4V_{\text{ср}}}{3,14 \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 2,65}{3,14 \cdot 1,4^2} = 1,72 \text{ м/с.}$$

Динамічна в'язкість газоповітряної суміші

$$\frac{M_{\text{сум}}}{\mu_{\text{сум}}} = y_{\text{н}} \frac{M_{\text{А}}}{\mu_{\text{А}}} + (1 - y_{\text{А}}) \frac{M_{\text{П}}}{\mu_{\text{П}}}, \quad (2.29)$$

де  $\mu_{\text{П}0} = 17,3 \cdot 10^{-6}$  Па · с – в'язкість повітря при  $t = 0^{\circ}\text{C}$ ,

при  $t = 20^{\circ}\text{C}$ :

$$\mu_{\text{П}} = \mu_{\text{В}0} \frac{273 + C}{T + C} \cdot \left( \frac{T}{273} \right)^{3/2}, \quad (2.30)$$

де  $C$  – постійна Сатерленда,

$$\mu_{\text{П}} = 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 120}{293 + 120} \cdot \left( \frac{293}{273} \right)^{3/2} = 18,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$\mu_{\text{А}0} = 9,1 \cdot 10^{-6}$  Па · с – в'язкість аміаку при  $t = 0^{\circ}\text{C}$ ,

при  $t=20^{\circ}\text{C}$ :

$$\mu_{\text{А}} = \mu_{\text{А}0} \frac{273 + C}{T + C} \cdot \left( \frac{T}{273} \right)^{3/2}, \quad (2.31)$$

$$\mu_{\text{А}} = 9,1 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 370}{293 + 370} \cdot \left( \frac{293}{273} \right)^{3/2} = 9,81 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с};$$

$$\frac{M_{\text{сум}}}{\mu_{\text{сум}}} = 0,15 \cdot \frac{17}{9,81 \cdot 10^{-6}} + (1 - 0,15) \frac{29}{18,3 \cdot 10^{-6}} = 1,61 \cdot 10^6,$$

звідси

$$\mu_{\text{сум}} = \frac{28,99}{1,61 \cdot 10^6} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с.}$$

Критерій Рейнольдса для газової фази

$$Re_{\Gamma} = \frac{\omega d_{\text{э}} \rho_{\Gamma}}{\varepsilon \mu_{\Gamma}}, \quad (2.32)$$

$$Re_{\Gamma} = \frac{1,72 \cdot 0,018 \cdot 1,2}{0,76 \cdot 18 \cdot 10^{-6}} = 2715,79.$$

$D_{\Gamma 0} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  – коефіцієнт дифузії аміаку у повітрі при нормальних умовах.

при робочих умовах:

$$D_{\Gamma} = D_{\Gamma 0} \frac{P_0}{P} \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{3/2}, \quad (2.33)$$

$$D_{\Gamma} = 17 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{273 + 20}{273} \right)^{3/2} = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

$D_p = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  – коефіцієнт дифузії аміаку у воді при нормальних умовах ( $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Дифузійний критерій Прандля для газу:

$$Pr_{\Gamma} = \frac{\mu_{\text{сум}}}{\rho_{\Gamma} D_{\Gamma}}, \quad (2.34)$$

$$Pr_{\Gamma} = \frac{18 \cdot 10^{-6}}{1,2 \cdot 18,9 \cdot 10^{-6}} = 0,79.$$

Висота одиниці переносу:

$$h_y = 0,615 \cdot d_e \cdot R_{\Gamma}^{0,345} \cdot (Pr_{\Gamma})^{0,67}, \quad (2.35)$$

$$h_y = 0,615 \cdot 0,018 \cdot 2715,79^{0,345} \cdot 0,79^{0,67} = 0,145 \text{ м}.$$

Приведена товщина стікаючої плівки:

$$\delta_{\text{пр}} = \left( \frac{\mu_p^2}{\rho_p^2 g} \right)^{1/3}, \quad (2.36)$$

$$\delta_{\text{пр}} = \left[ \frac{(1 \cdot 10^{-3})^2}{998^2 \cdot 9,81} \right]^{1/3} = 4,68 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Площа поперечного перерізу апарату:

$$S = 0,785 \cdot D^2 = 0,785 \cdot 1,4^2 = 1,53 \text{ м}^2.$$

Критерій Рейнольдса для рідкої фази:

$$Re_p = \frac{4\bar{L}}{Sa\mu_p}, \quad (2.37)$$

$$Re_p = \frac{4 \cdot 5,28}{1,53 \cdot 165 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 83,66.$$

Дифузійний критерій Прандля:

$$Pr_p = \frac{\mu_p}{\rho_p D_p}, \quad (2.38)$$

$$Pr_p = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{998 \cdot 1,6 \cdot 10^{-9}} = 626,25.$$

Висота одиниці переносу :

$$h_x = 119 \cdot \delta_{\text{пр}} \cdot R_p^{0,25} \cdot (Pr_p)^{0,5}, \quad (2.39)$$

$$h_x = 119 \cdot 4,68 \cdot 10^{-5} \cdot 83,66^{0,25} \cdot 626,25^{0,5} = 0,438 \text{ м.}$$

Мольна витрата газу (повітря):

$$G_{\Gamma} = \frac{\bar{G}}{M_{\Gamma}}, \quad (2.40)$$

$$G_{\Gamma} = \frac{3,03}{29} = 0,104 \text{ кмоль/с.}$$

Мольна витрата рідини (води):

$$L_B = \frac{\bar{L}}{M_p}, \quad (2.41)$$

$$L_B = \frac{5,28}{18} = 0,293 \text{ кмоль/с.}$$

Загальна висота одиниці переносу:

$$h_{oy} = h_y + \frac{mG_\Gamma}{L_B} h_x, \quad (2.42)$$

$$h_{oy} = 0,145 + \frac{1,79 \cdot 0,104}{0,293} \cdot 0,438 = 0,423 \text{ м.}$$

Висота шару насадки:

$$H_H = h_{oy} \cdot n_{oy}, \quad (2.43)$$

$$H_H = 0,423 \cdot 12,42 = 5,25 \text{ м.}$$

Шар насадки розбиваємо на яруси. Між шарами насадки зазвичай приймається із інтервалу 0,3...0,5 м. Однак у випадку установки розподільчої тарілки може прийматися конструктивно. У даному випадку приймаємо відстань рівною 1000 мм із умови габаритних розмірів розподільчої тарілки.

Відстань між днищем абсорбера і насадкою  $Z_H$  обумовлюється необхідністю рівномірного розподілу газу по поперечному перерізу апарату. Відстань від верху насадки до кришки абсорбера  $Z_B$  залежить від розмірів від розмірів пристрою для зрошення насадки і від висоти сепараційного простору. Ці відстані рекомендується приймати рівними

$$Z_H = 1,4 \text{ м,} \quad Z_B = 2,5 \text{ м.}$$

Тоді загальна висота абсорбера:

$$H = H_H + Z_H + Z_B + 2 \cdot h, \quad (2.44)$$

$$H = 5,25 + 1,4 + 2,5 + 2 \cdot 1 = 11,15 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера на вході газової суміші в апарат:

$$d_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4V_H}{\pi\omega}}, \quad (2.45)$$

де  $\omega = 10$  м/с – швидкість газової фази у штуцері (приймаємо у межах 5 – 20 м/с).

$$d_{\text{вх}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,78}{3,14 \cdot 10}} = 0,595 \text{ м.}$$

Діаметр штуцера на виході газової суміші з апарату:

$$d_{\text{вих}} = \sqrt{\frac{4V_{\text{К}}}{\pi\omega}}, \quad (2.46)$$

$$d_{\text{вих}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,51}{3,14 \cdot 10}} = 0,565 \text{ м.}$$

Приймаємо  $d_{\text{вх}} = 600$  мм,  $d_{\text{вих}} = 600$  мм.

Діаметри штуцерів для рідкої фази приймаємо однаковими і рівними

$$d_{\text{р}} = \sqrt{\frac{4L_{\text{V}}}{3,14 \cdot \omega_{\text{р}}}}, \quad (2.47)$$

де  $\omega_{\text{р}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  – швидкість рідкої фази в штуцері (приймаємо у межах 0,2-5 м/с).

$$d_{\text{р}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0053}{3,14 \cdot 3}} = 0,047 \text{ м.}$$

Приймаємо  $d_{\text{р}} = 50$  мм.

### 2.3 Гідравлічний опір апарата

Щільність зрошування

$$U = \frac{L_{\text{V}}}{S}, \quad (2.48)$$

$$U = \frac{0,0053}{1,53} = 0,0034 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$$

Величину гідравлічного опору  $\Delta p$  знаходимо за формулою:

$$\Delta p = \Delta p_c \cdot 10^{b \cdot U}, \quad (2.49)$$

де  $\Delta p_c$  – гідравлічний опір сухий (незрошуємої насадки), Па;  $U$  – щільність зрошення,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ ;  $b$  – коефіцієнт.

Для кілець Палля  $b = 126$ .

Гідравлічний опір сухої насадки:

$$\Delta p_c = \lambda \cdot \frac{H_n}{d_e} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_{\Gamma}}{2}, \quad (2.50)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт опору насадки.

$$\lambda = \frac{16}{Re_p^{0,2}}, \quad (2.51)$$

$$\lambda = \frac{16}{83,66^{0,2}} = 6,6.$$

Тоді

$$\Delta p_c = 6,6 \frac{5,25}{0,018} \cdot \frac{1,72^2 \cdot 1,2}{2} = 3417 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір зрошуваної насадки:

$$\Delta p = 3417 \cdot 10^{126 \cdot 0,0034} = 9163 \text{ Па.}$$

## 2.4 Вибір допоміжного обладнання

Виконаємо розрахунок вентилятора для перекачування газової суміші через абсорбер. Приймемо, що довжина трубопроводу до абсорбера складає  $L = 20$  м. На трубопроводі є два коліна і одна засувка. Гідравлічний спротив абсорбера  $\Delta p_a = 9163$  Па.

Приймемо швидкість суміші у трубопроводі  $\omega = 15$  м/с. Тоді діаметр трубопроводу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \omega}}, \quad (2.52)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,78}{3,14 \cdot 15}} = 0,486 \text{ мм.}$$

Критерій Рейнольдса для потоку газу в трубопроводі:

$$Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho}{\mu}, \quad (2.53)$$

$$Re = \frac{15 \cdot 0,486 \cdot 1,2}{18 \cdot 10^{-6}} = 486000.$$

Прийmemo що труби сталеві, що були в експлуатації. Тоді  $\Delta = 0,15$  мм.

Далі отримаємо:

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{0,486} = 0,309 \cdot 10^{-3};$$

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{0,309 \cdot 10^{-3}} = 3236;$$

$$10 \cdot \frac{1}{e} = 32360;$$

$$560 \cdot \frac{1}{e} = 560 \cdot 3236 = 1812160$$

$$32360 < Re = 486000 < 1812160$$

Таким чином, розрахунок  $\lambda$  необхідно проводити для зони змішаного тертя за формулою:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2.54)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot \left( 0,309 \cdot 10^{-3} + \frac{68}{486000} \right)^{0,25} = 0,016.$$

Визначаємо коефіцієнти місцевих опорів:



- вхід в трубу (приймаємо трубу з гострими краями),  $\xi_1 = 0,5$ ;
- засувка для  $d = 0,468$  м,  $\xi_2 = 0,25$ ;
- коліно,  $\xi_3 = 1,1$ ;
- вихід із труби,  $\xi_4 = 1$ .

Сума коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 = 0,5 + 0,25 + 2 \cdot 1,1 + 1 = 3,95.$$

Гідравлічний опір трубопроводу:

$$\Delta p_T = \left( \lambda \cdot \frac{L}{d} + \sum \xi \right) \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2}, \quad (2.55)$$

$$\Delta p_T = \left( 0,016 \cdot \frac{20}{0,486} + 3,95 \right) \cdot \frac{1,2 \cdot 15^2}{2} = 622 \text{ Па.}$$

Надлишковий тиск, який повинен забезпечити компресор для подолання гідравлічного опору апарату і трубопроводу, а також створення необхідного тиску газової суміші:

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_m + p = 9163 + 622 + 101325 = 111110 \text{ Па} = 0,111 \text{ МПа.}$$

Таким чином, при тисках  $p = 0,2 \dots 1$  МПа, необхідний компресор низького тиску. Об'ємний КПД компресора визначаємо за формулою:

$$\lambda_0 = 1 - c \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right], \quad (2.56)$$

де  $c$  – величина шкідливого простору, виражена відношенням об'єму шкідливого простору до об'єму, що описаний поршнем ( $c = 0,03 \dots 0,08$ );

$p_2/p_1$  – ступінь стиснення газу;

$m$  – показник політропи ( $m = 1,2 \dots 1,4$ ).

$$\lambda_0 = 1 - 0,05 \left( \frac{0,111}{0,101} - 1 \right) = 0,995.$$

Визначаємо коефіцієнт подачі компресора за формулою:

$$\lambda_k = \lambda_0 \cdot \left(1,01 - 0,02 \cdot \frac{p_2}{p_1}\right), \quad (2.57)$$

$$\lambda_k = 0,995 \cdot \left(1,01 - 0,02 \cdot \frac{0,111}{0,101}\right) = 0,983.$$

Потребуєма продуктивність компресора:

$$V_k = \frac{V_{\Pi}}{\lambda_k}, \quad (2.58)$$

$$V_k = \frac{2,78}{0,983} = 2,83 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Потужність, що споживається компресором за формулою:

$$N_k = \frac{p_1 \cdot V_k}{1000} \ln \frac{p_2}{p_1}, \quad (2.59)$$

$$N_k = \frac{101325 \cdot 2,83}{1000} \ln \frac{111110}{101325} = 22,259 \text{ кВт}.$$

Для забезпечення подачі газоповітряної суміші приймаємо компресор ТВ-200-1,12, що має наступні характеристики:  $V = 3,33 \text{ м}^3/\text{с}$ , тиск нагнітання  $p = 98067 \text{ Па}$ , потужність  $N = 75 \text{ кВт}$ .

Далі виконаємо розрахунок холодильника зрошуючої рідини. Температура води на вході в абсорбер  $t_{1к} = 20^\circ\text{C}$ , прийmemo на вході в холодильник  $t_{1п} = 40^\circ\text{C}$ . Охолодження здійснюється артезіанською водою з температурою  $t_{2п} = 10^\circ\text{C}$ , кінцеву температуру прийmemo рівною  $t_{2к} = 25^\circ\text{C}$ .

Із основного рівняння теплопередачі маємо:

$$F_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi}}{K_{\Pi} \cdot \Delta t_{\text{ср}}}; \quad (2.60)$$

$$Q_{\Pi} = \bar{L}_{\text{min}} \cdot c_{\text{н}} \cdot (t_{1п} - t_{1к}), \quad (2.61)$$

де  $Q_{\Pi}$  – теплове навантаження холодильника, Вт;  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт тепловіддачі,  $K = 500 \dots 1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $\Delta t_{\text{cp}}$  – середня різниця температур між теплоносіями, К;  $\bar{L}_{\text{min}}$ ,  $c_{\text{н}}$  – кількість охолоджуючої рідини, кг/с, і її теплоємність, Дж/(кг · К);  $t_{1\Pi}$ ,  $t_{1\text{К}}$  – початкова і кінцева температура зрошуючої рідини, °С.

$$Q_{\Pi} = 3,52 \cdot 4,19 \cdot (40 - 20) = 294,976 \text{ кВт};$$

$$t_{1\Pi} = 40^{\circ}\text{C} \rightarrow t_{1\text{К}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_{2\Pi} = 10^{\circ}\text{C} \rightarrow t_{2\text{К}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{б}} = 30^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{м}} = 5^{\circ}\text{C}$$

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (2.62)$$

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{30 - 5}{\ln \frac{30}{5}} = 14 \text{ К}$$

Тоді поверхня теплообміну:

$$F_{\Pi} = \frac{294976}{800 \cdot 14} = 26,34 \text{ м}^2.$$

На основі знайденої поверхні за ГОСТ 15122-79 обираємо кожухотрубний двоходовий теплообмінник з такими параметрами: площа поверхні теплопередачі  $F = 31 \text{ м}^2$ ; число труб  $n = 250$ ; довжина труб  $L = 3 \text{ м}$ ; діаметр труб  $d = 20 \times 2$ ; діаметр кожуха  $D_{\text{вн}} = 400 \text{ мм}$ ,  $D_{\text{зов}} = 426 \text{ мм}$ .

Потім здійснимо вибір прийомної ємності після абсорбера для зрошуючої рідини. Прийmemo, що об'єм ємності повинен забезпечити 3 години безперервної роботи абсорбера, тоді об'єм заливаємої рідини

$$V_{\text{р}} = \frac{3 \cdot 3600 \cdot \bar{L}_{\text{min}}}{\rho}, \quad (2.63)$$

$$V_p = \frac{3 \cdot 3600 \cdot 3,52}{998} = 38 \text{ м}^3.$$

При спокійному стані рідини коефіцієнт заповнення ємності  $\varphi = 0,7 \div 0,9$ , тоді обсяг резервуару:

$$V_{\text{рез}} = \frac{V_p}{\varphi} = \frac{38}{0,8} = 48 \text{ м}^3$$

Приймаємо стандартний посуд, що має наступні параметри: номінальний об'єм  $V = 63 \text{ м}^3$ , внутрішній діаметр  $D = 2800 \text{ мм}$ , довжина корпусу  $L = 9305 \text{ мм}$ .

### 3. Розрахунки апарату на міцність і герметичність

#### 3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки

Вихідні дані:

- внутрішній діаметр обичайки  $D = 1400$  мм;
- випробувальний тиск  $p_B = 0,2$  МПа;
- матеріал колони – сталь 12Х18Н10Т;
- температура середі в колоні  $t = 20^\circ\text{C}$ .

Допустиме напруження в робочому стані:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*,$$

$$[\sigma] = 1 \cdot 160 = 160 \text{ МПа},$$

де  $\sigma^* = 160$  МПа для сталі 12Х18Н10Т при температурі  $20^\circ\text{C}$ ;  $\eta = 1$ , так як апарат виготовлено із листового прокату.

Допустиме напруження для гідравлічних випробувань:

$$[\sigma]_B = \frac{\sigma_{T20}}{1,1},$$

$$[\sigma]_B = \frac{160}{1,1} = 145,5 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт міцності повздовжніх швів обичайки  $\varphi = 0,9$  так як зварювання виконано ручним зварюванням.

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки:

$$s_p = \frac{p_B D}{2\varphi[\sigma] - p_B}, \quad (3.1)$$

$$s_p = \frac{0,2 \cdot 1400}{2 \cdot 0,9 \cdot 160 - 0,2} = 1 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина стінки

$$s = s_p + c, \quad (3.2)$$

де  $c$  – прибавка до розрахункової товщини, що визначається за формулою:

$$c = c_1 + c_2 + c_3,$$

де  $c_1$  – прибавка для компенсації корозії та ерозії;  $c_2$  – прибавка для компенсації мінусового допуску;  $c_3$  - технологічна прибавка.

Прибавка для компенсації корозії визначається за формулою:

$$c_1 = P \cdot \tau, \quad (3.3)$$

де  $P$  – швидкість корозії, мм/рік;  $\tau$  – строк служби апарату, роки.

Прийmemo  $c_2 = 0$  і  $c_3 = 0$ , а строк служби апарату  $P = 10$  років, отримаємо:

$$c_1 = 10 \cdot 0,1 = 1 \text{ мм},$$

Отже прибавка до розрахункової товщини:  $c = 1 + 0 + 0 = 1$  мм.

$$s = 1 + 1 = 2 \text{ мм}.$$

Тиск в апараті від гідростатичного напору:

$$p_r = H \cdot \rho \cdot g \quad (3.4)$$

де  $H$  – висота колони, м;

$$p_r = 11,15 \cdot 988 \cdot 9,81 = 108068 \text{ Па} = 0,11 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий тиск в апараті:

$$p = p_r + p_b = 0,11 + 0,2 = 0,31 \text{ МПа}$$

Розрахункова товщина стінки за умовами гідравлічних випробувань:

$$s_{pr} = \frac{pD}{2\varphi[\sigma_{20}] - p}$$
$$s_{pr} = \frac{0,31 \cdot 1400}{2 \cdot 0,9 \cdot 160 - 0,31} = 1,5 \text{ мм}.$$

Виконавча товщина стінки обичайки при гідравлічних випробуваннях:

$$s_r = 1,5 + 1 = 2,5 \text{ мм.}$$

Враховуючи рекомендації по вибору товщини стінок корпусу в залежності від діаметру колони та напруги стиснення від маси колони, а також можливість установки апарату на відкритій площі, де діють вітрові навантаження, із запасом приймаємо  $s = 10$  мм.

Розрахункова товщина стінки еліптичної кришки:

$$s_{\text{кр.р}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p}, \quad (3.5)$$

$$s_{\text{кр.р}} = \frac{0,31 \cdot 1400}{2 \cdot 0,9 \cdot 160 - 0,5 \cdot 0,31} = 1,5 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки кришки:

$$s_{\text{кр}} = 1,5 + 1 = 2,5 \text{ мм.}$$

З метою уніфікації сортаменту матеріалу для виготовлення апарату приймаємо  $s_{\text{кр}} = 10$  мм.

### 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки і корпусу апарату  $D = 1400$  мм і  $p = 0,31$  МПа вибираємо за ДСТУ ISO 7005-1 з плоскими приварними фланцями типу 01.

Товщина втулки фланця:

$$s < s_o < 1,3s, \quad (3.6)$$

де  $s = 10$  мм – товщина обичайки апарата,

$$10 < s_o < 13$$

Приймаємо  $s_o = 12$  мм.

Перевіряємо виконання умови:

$$s_o - s < 5 \text{ мм}, \quad (3.7)$$

$12 - 10 = 2 \text{ мм} < 5 \text{ мм}$  – умова виконується.

Висота втулки фланця:

$$h_b \geq 0,5 \cdot \sqrt{D \cdot (s_o - c)}, \quad (3.8)$$

$$h_b \geq 0,5 \cdot \sqrt{1400 \cdot (12 - 1)} = 62 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $h_b = 70 \text{ мм}$ .

Визначаємо діаметр бовтової окружності:

$$D_6 = D + 2 \cdot (2 \cdot s_o + d_6 + u), \quad (3.9)$$

де  $d_6 = 27 \text{ мм}$  – діаметр бовтів при  $D = 1400 \text{ мм}$  і  $p = 0,31 \text{ МПа}$ ;  $u = 4 \div 6 \text{ мм}$  – нормативний зазор між гайкою і втулкою.

$$D_6 = 1,4 + 2 \cdot (2 \cdot 0,012 + 0,027 + 0,006) = 1,514 \text{ м.}$$

Приймаємо  $D_6 = 1,52 \text{ м}$  [4].

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_\phi \geq D_6 + a, \quad (3.10)$$

де  $a = 52 \text{ мм}$  для гайок шестигранних (звичайних) при  $d_6 = 27$ ,

$$D_\phi = 1520 + 52 = 1572 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $D_\phi = 1,575 \text{ м}$  [4].

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою:

$$D_\pi = D_6 - e, \quad (3.11)$$

де  $e = 37 \text{ мм}$  для плоских прокладок при  $d_6 = 27$ ,

$$D_\pi = 1520 - 37 = 1483 \text{ мм.}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{ср.п}} = D_\pi - b_\pi, \quad (3.12)$$



де  $b_{\text{п}} = 20$  мм – ширина прокладки при  $D = 1400$  мм.

$$D_{\text{ср.п}} = 1493 - 20 = 1473 \text{ мм.}$$

Матеріал прокладки – Пароніт товщиною 2 мм.

Кількість бовтів, необхідне для забезпечення герметичності з'єднання, визначається за формулою:

$$Z_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{б}}}, \quad (3.13)$$

де  $t_{\text{б}}$  – крок бовтів,  $t_{\text{б}} = (3,8 \div 4,8)d_{\text{б}}$  при  $p = 0,31$  МПа;

$$t_{\text{б}} = 4,8 \cdot 27 = 129,6 \text{ мм;}$$

$$Z_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 1520}{129,6} = 36,8.$$

Приймаємо найближче кратне чотирьом значення  $Z_{\text{б}} = 36$ .

Висота фланця визначаємо за формулою:

$$h = \lambda_{\text{ф}} \cdot \sqrt{D \cdot s_{\text{е}}}, \quad (3.14)$$

де  $\lambda_{\text{ф}} = 0,38$  – коефіцієнт при  $p = 0,31$  МПа;  $s_{\text{е}}$  – еквівалентна товщина втулки фланця:

$$s_{\text{е}} = \alpha \cdot s_{\text{о}}, \quad (3.15)$$

де  $\alpha = 1$  – для плоского приварного фланця,

$$s_{\text{е}} = 1 \cdot 12 = 12 \text{ мм;}$$

$$h = 0,38 \cdot \sqrt{1400 \cdot 12} = 49 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $h = 48$  мм [4].

Розрахункова довжина бовта між опорними поверхнями головки бовта і гайки:

$$l_{\text{б}} = l_{\text{бo}} + 0,28 \cdot d_{\text{б}}; \quad (3.16)$$

$$l_{\text{го}} = 2 \cdot (h + s_{\text{п}}); \quad (3.17)$$

$$l_{\text{го}} = 2 \cdot (48 + 2) = 100 \text{ мм};$$

$$l_{\text{г}} = 100 + 0,28 \cdot 27 = 107,56 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $l_{\text{г}} = 120 \text{ мм}$ .

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання:

$$Q_{\text{д}} = \frac{p_{\text{R}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}}^2}{4}, \quad (3.18)$$

де  $p_{\text{R}} = 0,31 \text{ МПа}$  – внутрішній надлишковий тиск в апараті,

$$Q_{\text{д}} = \frac{0,31 \cdot 3,14 \cdot 1,473^2}{4} = 0,528 \text{ МН}.$$

Реакція прокладки при робочих умовах:

$$R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\text{е}} \cdot k_{\text{пр}} \cdot p_{\text{R}}, \quad (3.19)$$

де  $k_{\text{пр}} = 2,5$  – для пароніта;  $b_{\text{е}}$  – ефективна ширина прокладки ( $b_{\text{е}} = 0,12\sqrt{b} = 0,12\sqrt{0,012} = 0,013 \text{ м}$ ).

$$R_{\text{п}} = 3,14 \cdot 1,473 \cdot 0,013 \cdot 2,5 \cdot 0,31 = 0,047 \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій, не враховуємо, оскільки перепад температур між середою в апараті і навколишньою середою (приймаємо установку колони в приміщенні) майже відсутній:

$$Q_{\text{t}} = 0.$$

Лінійна податливість бовта:

$$Y_{\text{г}} = \frac{l_{\text{г}}}{E_{\text{г}} \cdot f_{\text{г}} \cdot Z_{\text{г}}}; \quad (3.20)$$

$$Y_{\text{г}} = \frac{0,11}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 36} = 68,08 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}}{\text{МН}}.$$

Лінійна податливість прокладки:

$$Y_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\Pi} \cdot E_{\Pi}} ; \quad (3.21)$$

$$Y_{\Pi} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,473 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 11,08 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}}{\text{МН}}.$$

Кутова податливість фланця:

$$Y_{\Phi} = \frac{[1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E}, \quad (3.22)$$

де  $\nu$  – безрозмірний параметр;  $\psi_2$  – коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$\nu = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1}, \quad (3.23)$$

де  $\psi_1, j$  – коефіцієнти:

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg k;$$

$$k = \frac{D_{\Phi}}{D} - \text{для плоских фланців};$$

$$k = \frac{1,575}{1,4} = 1,125;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,125 = 0,065,$$

$$\psi_2 = \frac{k + 1}{k - 1} = \frac{1,125 + 1}{1,125 - 1} = 17;$$

$$j = \frac{h}{s_c} = \frac{0,048}{0,012} = 4.$$

Тоді

$$\nu = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 0,065 \cdot 4^2)]^{-1} = 0,6;$$

$$Y_{\Phi} = \frac{[1 - 0,6 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 17}{0,048^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,157 \frac{\text{М}}{\text{МН}}.$$

Визначаємо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$k_{\text{ж}} = \frac{Y_{\text{б}} + 0,5Y_{\text{ф}}(D_{\text{б}} - D - s_o)(D_{\text{б}} - D_{\text{ср.п}})}{Y_{\text{п}} + Y_{\text{б}} + Y_{\text{ф}}(D_{\text{б}} - D_{\text{ср.п}})^2}, \quad (3.24)$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{68,08 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,157 \cdot (1,52 - 1,4 - 0,012)(1,52 - 1,473)}{11,08 \cdot 10^{-6} + 68,08 \cdot 10^{-6} + 0,5 \cdot 0,157 \cdot (1,52 - 1,473)^2} = 1,847.$$

Визначаємо бовтове навантаження. В умовах монтажу:

$$p_{\text{б1}} = \max \left\{ \frac{k_{\text{ж}} \cdot Q_{\text{д}} + R_{\text{п}}}{0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\text{п}} \cdot p_{\text{пр}}} \right\}, \quad (3.25)$$

де  $p_{\text{пр}}$  – пробний тиск стиснення прокладки (для пароніта  $p_{\text{пр}} = 20$  МПа).

$$p_{\text{б1}} = \max \left\{ \frac{1,847 \cdot 0,528 + 0,047 = 1,022}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,473 \cdot 0,02 \cdot 20 = 0,925} \right\} = 1,022 \text{ МН.}$$

При робочих умовах:

$$p_{\text{б2}} = p_{\text{б1}} + (1 - k_{\text{ж}}) \cdot Q_{\text{д}} + Q_{\text{т}}, \quad (3.26)$$

$$p_{\text{б2}} = 1,022 + (1 - 1,847) \cdot 0,528 + 0 = 0,575 \text{ МН.}$$

Перевірка міцності та герметичності з'єднання.

Умова міцності бовтів:

$$\frac{p_{\text{б1}}}{Z_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}}} \leq [\sigma_{\text{б}}]^{20}, \quad (3.27)$$

$$\frac{p_{\text{б2}}}{Z_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}}} \leq [\sigma_{\text{б}}]^t, \quad (3.28)$$

де  $[\sigma_{\text{б}}]^{20} = 160$  МПа – для матеріалу бовтів при температурі 20°C.

$$\frac{1,022}{36 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 120,804 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа} – \text{ умова виконується};$$

$$\frac{0,575}{36 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 67,967 \text{ МПа} < 160 \text{ МПа} – \text{ умова виконується.}$$

Визначимо приведенний згинаючий момент за формулою:

$$M_0 = \max \left\{ 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{61} \right. \\ \left. 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{62} \right\}, \quad (3.29)$$

$$M_0 = \max \left\{ 0,5 \cdot (1,52 - 1,473) \cdot 1,022 = 0,024 \right. \\ \left. 0,5 \cdot (1,52 - 1,473) \cdot 0,575 = 0,014 \right\} = 0,024 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Для прокладки із пароніта умова міцності рахується за формулою:

$$\frac{p_{6\max}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} \leq p_{\text{пр}}, \quad (3.30)$$

де  $p_{\text{пр}}$  – допустимий тиск на прокладку,  $p_{\text{пр}} = 130$  МПа;

$$p_{6\max} = \max\{p_{61}; p_{62}\} = \max\{1,022; 0,575\} = 1,022 \text{ МН}.$$

$$\frac{1,022}{3,14 \cdot 1,473 \cdot 0,02} = 10,944 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа},$$

тобто умова міцності виконується.

Для перерізу, обмеженого розміром  $s_o$  перевіряємо умову за формулою:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma_0], \quad (3.31)$$

де  $\varphi = 0,95$  – коефіцієнт міцності зварних швів.

Меридіальне напруження у втулці від внутрішнього тиска:

$$\sigma_m = \frac{p_p \cdot D}{4(s_o - c)}, \quad (3.32)$$

$$\sigma_m = \frac{0,31 \cdot 1,4}{4(0,012 - 0,001)} = 9,86 \text{ МПа}.$$

Тангенціальне напруження у втулці від внутрішнього тиску визначається за формулою:

$$\sigma_t = \frac{p_p \cdot D}{2(s_o - c)}, \quad (3.33)$$

$$\sigma_t = \frac{0,31 \cdot 1,4}{2(0,012 - 0,001)} = 9,73 \text{ МПа}.$$

Максимальне напруження у перерізі, що обмежене розміром  $s_0$  визначається за формулою:

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{cp} \cdot M_0 \cdot v}{D \cdot (s_0 - c)^2}, \quad (3.34)$$

де  $\psi_3 = 1$  – для плоских приварних фланців;  $T_{cp}$  – безрозмірний коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$T_{cp} = \frac{D_{II}^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_{II}}{D}\right) - D^2}{(1,05 \cdot D^2 + 1,945 \cdot D_{II}^2) \cdot \left(\frac{D_{II}}{D} - 1\right)}, \quad (3.35)$$

$$T_{cp} = \frac{1,493^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,493}{1,4}\right) - 1,4^2}{(1,05 \cdot 1,4^2 + 1,945 \cdot 1,493^2) \cdot \left(\frac{1,493}{1,4} - 1\right)} = 1,89.$$

$$\sigma_0 = 1 \cdot \frac{1,89 \cdot 0,024 \cdot 0,6}{1,4 \cdot (0,012 - 0,001)^2} = 160,66 \text{ МПа.}$$

Допустиме напруження для фланця у перерізі  $s_0$  при кількості навантажень з'єднання (зборка-розборка) не більш  $2 \cdot 10^3$ :

$$[\sigma_0] = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,9 \cdot 10^3 = 570 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sqrt{(160,66 + 9,86)^2 + 9,73^2} - (160,66 + 9,86) \cdot 9,73 < 0,95 \cdot 570 \text{ МПа;}$$

165 МПа < 570 МПа – умова міцності виконана.

Окружний тиск у кільці фланця:

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - v \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{D \cdot h^2}, \quad (3.36)$$

$$\sigma_k = \frac{0,024 \cdot [1 - 0,6 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 17}{1,4 \cdot 0,048^2} = 24,64 \text{ МПа.}$$

Визначаємо кут повороту фланця за формулою:

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D}{E \cdot h} \leq [\Theta], \quad (3.37)$$

де  $[\Theta] = 0,009$  рад – допустимий поворот фланця;

$$\Theta = \frac{24,64 \cdot 1,4}{1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,048} = 0,004 \text{ рад} < 0,009 \text{ рад},$$

тобто умова герметичності з'єднання виконується.

### 3.3 Розрахунок і вибір опори

Вибір опори залежить від ряду умов: місце установки апарату, співвідношення висоти і діаметру апарату, його маси, тощо. При співвідношенні  $H/D \geq 5$  вибрана циліндрична опора з кільцевим опорним поясом.

Насипна щільність насадки:  $\rho = 540 \text{ кг/м}^3$ .

Маса насадки:

$$m_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot \rho, \quad (3.38)$$

$$m_1 = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 5,25 \cdot 540 = 4362 \text{ кг}.$$

Маса обичайки колони:

$$m_2 = \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho, \quad (3.39)$$

$$m_2 = 3,14 \cdot (1,4 + 0,01) \cdot 0,01 \cdot 11,15 \cdot 7850 = 3875 \text{ кг}.$$

Маса оснастки колони приймається в розмірі 20 % від маси обичайки:

$$m_3 = 0,2 \cdot m_2, \quad (3.40)$$

$$m_3 = 0,2 \cdot 3875 = 775 \text{ кг}.$$

Об'єм колони  $V = 70 \text{ м}^3$ , тоді маса води при гідравлічних іспитах:

$$m_4 = V \cdot \rho_{\text{в}}, \quad (3.41)$$

$$m_4 = 70 \cdot 1000 = 70000 \text{ кг.}$$

Приведене навантаження на опору:

$$Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g, \quad (3.42)$$

$$Q = (4362 + 3875 + 775 + 70000) \cdot 9,81 = 695712 \text{ Н.}$$

Міцність зварного з'єднання опори з корпусом визначаємо за умовою:

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot a_1} \leq \varphi_s \cdot [\sigma], \quad (3.43)$$

де  $a_1 = 8$  мм – розрахункова товщина зварного шва;  $\varphi_s = 0,7$  – коефіцієнт міцності зварного шва,

$$\sigma = \frac{4 \cdot 695712}{3,14 \cdot 1400 \cdot 8} = 79,13 \text{ МПа} < 0,7 \cdot 120 = 84 \text{ МПа.}$$

Отже, умова міцності зварного шва виконується.



## 4 Монтаж та ремонт апарата

### 4.1 Монтаж розробленого апарата

Процес монтажу насадкового абсорбера для поглинання аміаку з повітряної суміші є складовою частиною реалізації проекту і вимагає ретельного планування та виконання. Важливою складовою успішного монтажу є дотримання технічних вимог і стандартів безпеки.

Однією з вирішальних умов правильної організації монтажних робіт є постачання обладнання в комплекті з високим рівнем заводської готовності. Порядок встановлення обладнання регламентується «Основними технічними вимогами монтажних організацій до хімічного обладнання».

Обладнання, що поставляється, повинно відповідати наступним основним вимогам, що визначають його якість і максимальну готовність:

1) для апаратів колонного типу при монтажі повинні бути передбачені монтажні штуцери або інші захватні пристрої;

2) кожен штуцер на апараті або посудині повинен мати фланець, робочу прокладку і кріпильні деталі;

3) в опорній підставі повинні бути передбачені регульовальні гвинти, за допомогою яких обладнання можна вирівняти на фундаменті в горизонтальній та вертикальній площинах;

4) апарати із зовнішніми та внутрішніми теплоізоляційними захисними покриттями повинні поставлятися з привареними деталями для кріплення цих покриттів та підготовленими захисними поверхнями;

5) на апаратах і посудинах, що підлягають гідравлічному випробуванню на місці монтажу, повинні бути передбачені спеціальні штуцери для встановлення вентиля, через який під час заповнення апарата водою випускається повітря, приєднується манометр та здійснюється повний злив води;

б) для вивіряння вертикальності встановленого апарату колонного типу, якщо він за проектом має зовнішню ізоляцію, повинні бути передбачені спеціальні бобишки з нарізкою для вкручування штирів. Бобишки розташовують у нижній та верхній частинах апарату по дві, під кутом 90 °С;

7) відправлені заводом-виробником до місця монтажу апарат, посудина або транспортабельний вузол повинні мати вказівки місць стропування, зазначене на апараті або вузлі яскравою фарбою. На апараті або вузлі на видному місці також яскравою фарбою має бути вказана вага апарата або його вузлів. Якщо апарат поставляється окремими вузлами, то вони повинні мати складальне маркування на частинах, що відмінюються.

Складання апаратів, що складаються з окремих царг, що збираються на фланцях здійснюється безпосередньо на фундаменті. У цьому випадку до їх підйому слід перевірити горизонтальність поверхонь привалок кожної царги. Відхилення має перевищувати 0,3 мм на 1 м діаметр апарату, але з більше 2 мм весь діаметр.

Складання фланцевих з'єднань повинно виконуватися без підгонних операцій; болти в отвори повинні входити вільно, без напруги. Затягування фланцевих з'єднань необхідно проводити одночасним загортанням гайок на діаметрально розташованих болтах або шпильках. Остаточне затягування фланцевих з'єднань царг апаратів з прокладками зі шнурового азбесту слід проводити «на гаряче» при нагріванні всього апарату пором до 60°С.

Найпростіший монтаж колони, що з окремих елементів – царг. Існують два способи монтажу: нарощуванням та підрощуванням. Вибір способу залежить, в основному, від наявного підйимально-транспортного обладнання. Якщо є кран, висота підйому якого більше загальної висоти колонного апарату, а вантажопідйомність перевищує вагу однієї царги, доцільно застосовувати спосіб нарощування. Перед встановленням кожної царги необхідно приварити кронштейни для огорож. З цих риштування проводяться стикування і з'єднання царг.

Спосіб підрощування зручний при встановленні царгового колонного апарату всередині існуючої етажерки, що має монтажну балку. Окремі царги в цьому випадку зтягують на фундамент за допомогою трактора або монтажних лебідок і поворотних блоків і підстиковують до раніше змонтованих царг. Монтувати способом підрощування можна і поза етажеркою. Для цього дві монтажні щогли з'єднують нагорі балкою так, щоб вони утворили портал. Подальші роботи ведуться так само, як і при монтажі всередині етажерки.

## **4.2 Ремонт апарата**

Експлуатація насадкового абсорбера для поглинання аміаку з повітряної суміші з часом потребує проведення ремонтних робіт для забезпечення його безперебійної роботи та продовження терміну служби. Ремонт абсорбера може бути плановим (профілактичним) або позаплановим (аварійним).

Графіки та плани ремонту обладнання складаються у певній послідовності відповідно до чинного положення про планово-попереджувальний ремонт. Технічна адміністрація виробничого цеху подає до відділу головного механіка підприємства проект річного плану-графіка ремонту обладнання з урахуванням дати їхнього останнього ремонту. Відділ головного механіка виходячи з цехових проектів планів-графіків розробляють проект зведеного плану ремонту устаткування підприємству.

Підготовка ремонту включає: 1) технічний огляд обладнання перед ремонтом; 2) складання проектно-кошторисної документації для робіт, що підлягають виконанню; 3) оформлення та видачі замовлень на проведення робіт; 4) розробку графіка для проведення робіт.

Основним видом зносу колонної масообмінної апаратури є забиття колони відкладеннями та корозія її елементів. Царгові колони повністю розбираються. Вантажопідйомний механізм встановлюється вище за колону, що дозволяє по черзі знімати всі царги. Якщо неможливо встановити

вантажопідійомний механізм вище колони, демонтаж починається з нижньої царги.

Підготовка колонного апарата до ремонту включає такі етапи: видалення робочого середовища з апарата, після чого проводиться його пропарювання водяною парою для витіснення залишкових парів газів з колони. Після пропарювання колону промивають водою, що також сприяє швидшому її охолодженню. Не можна розпочинати ремонтні роботи, якщо температура промивної води перевищує 50°C. Пропарену та промиту колону від'єднують від усіх апаратів та комунікацій, встановлюючи глухі заглушки у фланцевих з'єднаннях. Установку та зняття кожної заглушки реєструють у спеціальному журналі.

Ремонт ґрат царгових колон проводиться після їх демонтажу. Ґрати в царгах ущільнюються за допомогою азбесту або фторопластового шнурового ущільнювального матеріалу. При демонтажі решіток азбест і ФУМ витягуються за допомогою гаків і зубила. Ремонт решіток включає їх чистку та заміну зношених елементів. Дуже відповідальною операцією під час складання царгової колони є встановлення прокладок між дротяними поверхнями та кріплення царг болтами. Від постійності товщини прокладки по всій площі сполучення та рівномірності затягування болтів фланцевих з'єднань залежить щільність з'єднань, а також вертикальне положення осі колони та горизонтальне положення ґрат.

Ремонт колони завершується її випробуванням. Під час гідравлічного випробування колона заповнюється водою при відкритому повітрянику, встановленому у верхній частині колони. Поява води в повітрянику свідчить про заповнення колони. Після закриття повітряника тиск у колоні повільно підвищується до контрольованого значення. При цьому тиску апарат витримується 5 хвилин, після чого тиск знижується до робочого рівня, і починається огляд корпусу, під час якого зварні шви простукуються молотком масою 0,5-1,5 кг.

## **5 Охорона праці та техніка безпеки [5, 6]**

Охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Охорона праці та техніка безпеки є важливими аспектами управління виробничими процесами, що спрямовані на забезпечення безпечних та здорових умов праці для працівників. В сучасних умовах дотримання норм охорони праці є не лише вимогою законодавства, але й невід'ємною частиною корпоративної соціальної відповідальності та ефективного управління підприємством.

Техніка безпеки - це сукупність організаційних заходів та технічних засобів, що попереджують вплив на працівників небезпечних виробничих факторів. Техніка безпеки є складовою частиною охорони праці та забезпечує запобігання нещасним випадкам і аваріям на виробництві.

Безпечне робоче середовище дозволяє уникнути травм і захворювань серед працівників. Внаслідок цього, менше часу витрачається на лікування, відновлення після травм і втрату робочого часу через хвороби. Це сприяє збільшенню загальної кількості робочих годин і підвищує продуктивність труда.

Забезпечення безпечного та комфортного робочого середовища допомагає працівникам краще сконцентруватися на виконанні своїх обов'язків і підвищує їхню увагу до деталей. Це може призвести до зменшення кількості помилок і відхилень від стандартів якості, що в свою чергу підвищує загальну якість продукції або послуг.

Впровадження технічних та організаційних заходів безпеки може сприяти оптимізації робочих процесів і зменшенню часу, необхідного для виконання роботи. Наприклад, встановлення автоматизованих систем

контролю може зменшити кількість ручних операцій, а отже, скоротити час на виробництво продукції.

### **5.1 Вимоги до обладнання**

Все обладнання повинне відповідати вимогам проектно-конструкторської документації та повинно мати:

- 1) технічний паспорт або технічний опис;
- 2) інструкцію з експлуатації.

Для нестандартного обладнання, оснащення, пристроїв та інструментів обов'язкові креслення. Все виробниче обладнання має зберігатися у справному стані, чистоті та порядку, дотримуючись встановлених для нього технічних норм. Відповідальність за правильну експлуатацію технологічного обладнання несуть начальник і технолог виробництва, майстер зміни та особа, яка безпосередньо ним керує.

У відділеннях, що працюють з пожежо- та вибухонебезпечними матеріалами, обладнання повинне повністю відповідати проектам, затвердженим директором заводу.

Ремонт та контроль за станом обладнання має проводитися в строки, визначені графіком планово-попереджувального ремонту.

Все електричне обладнання, комунікації та апарати мають бути заземлені, а контроль за станом заземлення повинен бути постійним.

**Забороняється:**

1) працювати на обладнанні, яке несправне, не заземлене або забруднене, а також з використанням несправних приладів, некондиційних або забруднених матеріалів та непридатного інструменту. Заборонено також працювати при вимкненій або несправній витяжній вентиляції, несправній системі пожежогасіння або відсутності засобів пожежогасіння;

- 2) проводити ремонт працюючих насосів та трубопроводів;
- 3) залишати без нагляду працююче обладнання;
- 4) різко збільшувати або зменшувати частоту обертання відцентрових насосів, щоб уникнути гідравлічних ударів у лініях,
- 5) пускати в експлуатацію виробниче обладнання без встановлених проектом огорож, контрольно-вимірювальних приладів, блокувань та сигналізації, які забезпечують безпеку його обслуговування.

## 5.2 Мікроклімат

Метрологічні умови обрано відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88 та ДБН 3.36.042-99 з урахуванням категорії робіт з енерговитрат при виконанні відповідних технологічних операцій та періоду року.

Робочою зоною вважається простір заввишки до 2 м над рівнем підлоги або майданчика, на яких перебувають люди або є робочі місця):

- температурою повітря, °С;
- відносною вологістю повітря, %;
- швидкістю руху повітря на робочому місці, м/с;
- інтенсивністю теплового випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>.

Таблиця 5.1 – Оптимальні параметри мікроклімату

Категорія робіт	Період	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Середньої важкості II а	Холодний	18-20	40-60	0,2
	Теплий	21-23	40-60	0,3

Для забезпечення нормалізації параметрів мікроклімату передбачені наступні заходи: вентиляція та опалення в холодну пору року.

### 5.3 Освітлення

Правильно спроектоване та раціонально виконане освітлення виробничих приміщень надає позитивний психофізіологічний вплив на працюючих, сприяє підвищенню ефективності та безпеки праці, знижує втому та травматизм, зберігає високу працездатність.

При освітленні виробничих приміщень використовують природне, штучне та комбіноване освітлення.

Природне освітлення на виробництві - це використання природного світла замість або разом із штучним освітленням для забезпечення відповідної освітленості виробничих приміщень. Воно може включати в себе використання вікон, підвісних вікон, дахових прозорих покриттів та інших природних джерел світла для покращення умов праці та зменшення витрат на електроенергію.

Штучне освітлення - це вид освітлення, який забезпечується шляхом використання електричних джерел світла, таких як лампи, люмінесцентні трубки, світлодіоди тощо. Воно використовується там, де природне освітлення недостатнє або неможливе через різні причини, такі як внутрішні приміщення без вікон, нічний час, та інші обставини.

Комбіноване освітлення - це підхід, при якому використовуються як природне, так і штучне освітлення для забезпечення оптимальних умов освітлення в приміщенні.

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного освітлення та для освітлення приміщень у темну пору доби.

Під час виконання робіт IV розряду використовується система загального освітлення. Нормована освітленість по IV розряду (загальне спостереження за ходом виробничого процесу) під розряду становить 200 лк.



Для освітлення виробничого приміщення застосовуються люмінесцентні лампи, так як вони енергетично більш економічні та за спектральними характеристиками максимально близькі до природного та мають найвищу світловіддачу. Вибираємо лампи ЛД-80: потужність 80 Вт, світловий потік 5400 лм, довжина 1,5 м, діаметр 40 мм.

#### **5.4 Шум та вібрація**

Основним джерелом шуму в цеху є механічне обладнання: насоси, компресори. Відповідно до ГОСТ 12.1.003-83, допустимий шумовий рівень у виробничому приміщенні - не більше 80 дБА.

Якщо рівень шуму перевищує допустимий, то проводять заходи щодо його нормалізації:

- 1) покращення рівня експлуатації робочого обладнання;
- 2) використання демпфуючих матеріалів;
- 3) звукоізоляція обладнання кожухами.

Машини та механізми, що застосовуються в даному технологічному процесі, викликають певні механічні коливання, що передаються на тіло людини.

З метою профілактики віброшумових захворювань для працівників з віброуючим обладнанням рекомендується спеціальний режим роботи (обмеження часу контакту з віброінструментом, додаткові перерви тощо).

#### **5.5 Електробезпека**

Відповідно до ПУЕ - 87 та ГОСТ 12.1.013-78 робоче приміщення за ступенем небезпеки ураження електричним струмом відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. Тому що з одного боку є можливість дотику до металевих конструкцій будівель, що мають з'єднання із землею, технологічних апаратів, а з іншого до металевих корпусів електрообладнання.

Заходи електробезпеки:

- 1) контроль та профілактика пошкоджень ізоляції;
- 2) усунення небезпеки ураження при появі напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування досягається захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням;
- 3) організація безпечної експлуатації електроустановок;
- 4) використання обладнання закритого типу.

## **5.6 Пожежна безпека**

Пожежна безпека забезпечується системами запобігання пожежі та протипожежній безпеці, захисту, а також організаційно-технічними заходами.

Заходи системи запобігання пожежі:

- 1) застосування негорючих речовин;
- 2) обмеження кількості горючих речовин та їх розміщення;
- 3) протипожежні розриви між будинками;
- 4) періодичне очищення приміщень та території;
- 5) ізоляція горючих речовин.

Передбачено внутрішній та зовнішній водопроводи з пожежними кранами; для повідомлення про пожежу – електрична пожежна сигналізація та телефонний зв'язок.

Для запобігання пожежі використовують первинні засоби пожежогасіння – порошковий вогнегасник ОП-9 – 2 шт., вуглекислий вогнегасник ВВК-5-2 шт., а також ящик з піском, лопату.

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі були представлені теоретичні основи процесу, опис технологічної схеми абсорбційної установки, опис конструкції апарату та вибір конструкційних матеріалів.

Були проведені технологічний і конструктивний розрахунки, визначені показники теплообмінних і масообмінних процесів, а також основні конструктивні розміри апарату:  $H = 11,15$  м;  $D = 1400$  мм.

Виконані гідравлічні розрахунки і вибір допоміжного обладнання.

Проведені розрахунки апарату на міцність, прийнята товщина стінки обичайки  $s = 10$  мм, було розраховане фланцеве з'єднання, був проведений розрахунок і вибір опори.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.І.Дубинін. Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів: навчальний посібник – Львів : Львівська політехніка, 2013. – 292 с.
2. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження: навч. посібник. - Львів : Світ, 2001. – 294 с.
3. Врагов, А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник. - Суми : СумДУ, 2008. – 170 с.
4. ДСТУ ISO-1:2005. МЕТАЛЕВІ ФЛАНЦІ.
5. Охорона праці: конспект лекцій / укладач А.Ф. Денисенко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2007. – Ч.1. – 128 с.
6. Охорона праці: конспект лекцій / укладач А.Ф. Денисенко. – Суми: Вид-во СумДУ, 2007. – Ч.2. – 130 с.