

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 6.133 Галузеве машинобудування _____,
(код та назва)

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

на тему:

Виробництво азотної кислоти. Розробити насадочний абсорбер для поглинання сірководню із суміші його з азотом та метаном продуктивністю 8 т/годину

Здобувача _____ ХМ-01ш _____ Галенко Єгора Ігоровича _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

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

_____ (підпис)

Єгор ГАЛЕНКО

_____ (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

Графічний матеріал: Технічна схема монтажу, схема складання пристрою, схема складання вузла, всього 4 аркуші формату А1.

Тема проекту: «Виробництво азотної кислоти. Розробити насадочний абсорбер для поглинання сірководню із суміші його з азотом та метанолом продуктивністю 8 т/годину.»

Наведено технічну схему монтажу, пристрій і принцип його роботи. Дослідження включає теоретичну основу процесу всмоктування, виконані технічні розрахунки і розрахунки міцності, що підтверджують працездатність і надійність пристрою.

Надається інформація про встановлення приладу, даються основні вимоги з охорони праці.

Ключові слова: АБСОРБЦЯ, НАСАДКОВА КОЛОНА, АЗОТНА КИСЛОТА, СІРКОВОДЕНЬ, ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, РОЗРАХУНОК.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. Азотна кислота і сірководень	6
1.1 Характеристики азотної кислоти	6
1.2 Характеристика сірководню	7
2 Теоретичні основи процесу, що розробляється.	
Обґрунтування вибору конструкції апарату та матеріалів	8
2.1 Опис технологічної установки і вибір основних конструктивних матеріалів	8
2.2 Опис конструкції апарата	12
2.3 Принцип роботи апарату	13
3 Технологічні розрахунки	15
3.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки	17
3.2 Конструктивні розрахунки	19
3.3 Гідравлічний опір апарата	23
4 Розрахунки апарату на міцність і герметичність	25
4.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки	25
4.2 Розрахунок і вибір опори	26
4.3 Розрахунок фланцевого з'єднання	28
5 Монтаж та ремонт апарата	36
5.1 Монтаж розробленого апарата	36
5.2 Ремонт апарата	38
6 Охорона праці та техніка безпеки	40
6.1 Умови зберігання	40
6.2 Вплив на організм людини	40
6.3 Правила роботи	40
6.4 Вплив на довкілля	41
6.5 Перша медична допомога	41
6.6 Електробезпека	41
6.7 Пожежна безпека	42
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	44

ВСТУП

Область застосування абсорбційних процесів в промисловості дуже широка: одержання готового продукту шляхом поглинання газу рідиною, розділення гарових сумішей на складники та їх компоненти, очищення газів від шкідливих домішок і відлов цінних компонентів з газових викідів.

Розрахунок колонних абсорбційних апаратів виконується з метою визначення технологічного режиму процесу, основних розмірів апарату та його внутрішніх пристроїв, що забезпечують задану чіткість поділу вихідної сировини при заданій продуктивності. Технологічний режим процесу визначається робочим тиском в апараті, температурами всіх зовнішніх потоків, а також питомою витратою зрошуючої рідини. Основними розмірами апарату є його діаметр і висота, що залежать головним чином від типу контактного пристрою в колоні.

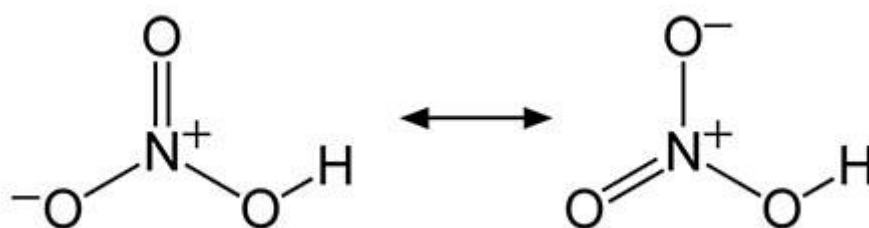
З метою систематизації та вибору найбільш раціональної схеми розрахунку процесів та апаратів розрахунок умовно поділяється на дві частини. До першої відноситься визначення параметрів процесу поділу, що контролюють якість продуктів, що отримуються - показників технологічного режиму; до другої - визначення параметрів процесу, що контролюють продуктивність колони, тобто основних розмірів колони та її внутрішніх пристроїв. Перша частина називається технологічним розрахунком процесів та апаратів, оскільки основним його змістом є визначення технологічного режиму поділу; друга частина називається конструктивним розрахунком апаратів, оскільки основні розміри апарату визначаються на основі гідравлічних залежностей взаємодії двофазних потоків газ - рідина.

Оптимальний розрахунок процесів і апаратів виконується шляхом одночасного вирішення всіх рівнянь, що описують процес поділу компонентів суміші та визначають основні розміри апарату.

1. Азотна кислота і сірководень

1.1 Характеристика азотної кислоти[3]

Безбарвна димуча рідина з різким запахом. Густина безводної азотної кислоти — 1522 кг/м^3 , $t_{\text{пл.}} = 41,15 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{кип.}} = 86 \text{ }^\circ\text{C}$; легко розкладається, набуваючи жовтого кольору. Розчиняється у воді в усіх співвідношеннях; утворює азеотропну суміш, що містить 68,4 % HNO_3 . Концентрована азотна кислота — сильний окисник: окислює сірку до сірчаної кислоти, фосфор — до фосфорної кислоти, руйнує органічні речовини. Продуктами взаємодії азотної кислоти з металами є солі — нітрати. Алюміній, залізо, хром реагують з розбавленою азотною кислотою і не взаємодіють з концентрованою внаслідок утворення окисної плівки на їхній поверхні. Азотна кислота взаємодіє з багатьма органічними сполуками, утворюючи нітросполуки (див. Нітрування). Азотисту кислоту отримують розчиненням оксиду азоту(IV) у воді. Азотну кислоту використовують у виробництві добрив, вибухових речовин, барвників, лаків, у металургії кольорових металів, у хімічних лабораторіях тощо.



Азотна кислота відновлюється до високотоксичних хімічних речовин. За нагрівання або під дією світла концентрована кислота розкладається з утворенням високотоксичного газу червоно-бурого кольору — діоксиду азоту (NO_2). Гранично допустима концентрація для азотної кислоти у повітрі робочої зони для NO_2 становить 2 мг/м^3 .

Концентрована азотна кислота — негорюча пожежонебезпечна рідина, сильний окисник. Внаслідок контакту з багатьма матеріалами викликає їх самозаймання, сильно димить на повітрі. Виділяє оксиди азоту та пари азотної кислоти, які утворюють з вологою повітря туман, що необмежено розчиняється у воді. Пари азотної кислоти в 2,2 рази важчі за повітря. Через вибухонебезпечний характер реакцій і сумішей, що утворюються, а також виняткову небезпеку для здоров'я людей, азотна кислота вимагає особливої обережності під час зберігання і використання.

1.2 Характеристика сірководню [7]

Сірководень (H_2S) – це безбарвний газ із характерним запахом тухлих яєць, що відчують у повітрі при концентрації 0,002 мг/л. При перевищенні певної концентрації сірководень знеболює нюховий нерв, через що він «зникає» і робиться абсолютно невиявленим.

Він є дуже токсичним і може бути смертельним у високих концентраціях. Великі кількості сірководню легко окиснюються атмосферним киснем, і тому він не накопичується у повітрі в значних концентраціях.

Сірководень утворюється в результаті вулканічної активності, входить до складу природного газу, присутній у деяких мінеральних водах, є кінцевим продуктом розпаду сірковмісних амінокислот.

H_2S може утворюватися при розкладі залишків рослинних і тваринних організмів, а також при розкладі інших органічних речовин, які містять сірку.

При розкладі органічних матеріалів, таких як білки і амінокислоти, сірка, яка міститься в цих сполуках, може виділятися у вигляді сірководню. Такі процеси часто спостерігаються у природних середовищах, де відбувається розклад органічної речовини, наприклад, в болотах, водоймах і ґрунтах з низьким вмістом кисню.

2 Теоретичні основи процесу, що розробляється. Обґрунтування вибору конструкції апарату та матеріалів.

2.1 Теоретичні основи процесу і вибір основних конструктивних матеріалів

На здатність газів розчинятися в рідинах впливають характеристики як газу, так і рідини, а також температура парціального тиску газу, який розчиняється в газовій суміші.

Відповідно до закону Генрі, рівноважний парціальний тиск p^* газу в розчині X прямо пропорційний кількості розчиненого газу в розчині, вираженому в кг/кг абсорбера.

$$p^* = EX$$

де E - коефіцієнт пропорційності, що має розмірність тисків і залежать від властивостей розведеного газу та поглиначача

Розчинність багатьох газів не відповідає закону Генрі. Цей принцип в першу чергу стосується газів, які легко розчиняються в розчинах і утворюють високі концентрації. У ситуаціях, коли концентрація речовини в розчині низька, зазвичай чітко дотримуються закону Генрі.

Для проведення практичних розрахунків використовується експериментально визначене значення рівноважного парціального тиску газу p^* і визначається рівноважний вміст поглиненого компонента в газовій суміші U^* за формулою.

$$y^* = \frac{M_k}{M_H} \cdot \frac{p^*}{p}$$

де M_k і M_H – молекулярна маса абсорбуючих компонентів і інертних газів;

p – спільний тиск газовій суміші.

За знайденими значеннями Y^* будують лінію рівноваги. При невеликих значеннях p^* порівняно з p можна приблизно написати, враховуючи попереднє рівняння

$$y^* = \frac{M_K}{M_H} \cdot \frac{p^*}{p} = \frac{M_K}{M_H} \cdot \frac{E}{p} \cdot X = kx$$

де $k = \frac{M_K}{M_H} \cdot \frac{E}{p}$

У цьому випадку лінія рівноваги є прямою, кут нахилу якій дорівнює k .

Абсорбційні колони, засновані на внутрішньому механізмі розподілу рідини, що тече, і газів, що піднімаються, можна класифікувати на ковпачки, сита та насадки. Колона — це висока циліндрична конструкція зі сталі, чавуну або кераміки, яка складається з кількох секцій, з'єднаних між собою за допомогою знімних фланців.

У щільно набитих колонках насадкою є кільця Рашига (з металу, порцеляни або кераміки), порожнисті кульки, подрібнений кокс, кварц і ін. Вибір форми та матеріалу сопла визначається на основі конкретних властивостей газу та рідини, що використовуються, а також умов процесу.

Для забезпечення безперебійної роботи насадкових колон вкрай важливо прагнути до рівномірного розподілу текучої рідини по всій площі поперечного перерізу колони. Рівномірний розподіл рідини стає можливим завдяки постійній формі та розміру сопла, максимальній швидкості, з якою газ може текти вгору, і вертикальному розташуванню колонки. Дослідження показали, що початкова рівномірність розподілу рідини порушується під час її течії, оскільки газ прагне підштовхнути рідину до країв і зайняти центральну область шару сопла. Для вирішення цієї проблеми в колонах зі значною кількістю сопел останні поділяють на кілька шарів меншої висоти, причому кожен шар відокремлений від інших порожнім простором. Крім того, над кожним шаром форсунок встановлені розподільні пластини, що гарантують

послідовне зрошення форсунки та рівномірний розподіл газу по всій площі поперечного перерізу колони.

Виходячи з конструкції будівель, розрізняють три типи колон:

Корпус побудований шляхом поєднання окремих частин, які з'єднуються між собою за допомогою фланців на прокладці. Таким же чином кріпляться кришка і дно. При відсутності люків ця ситуація не застосовна.

Весь корпус колони виготовлений за допомогою зварювання, а кришка закріплена фланцевим з'єднанням. Для огляду в корпусі встановлені ревізійні люки.

Весь корпус колони зварюється, до нього також приварюється кришка і днище. Коли мова заходить про установку і демонтаж внутрішнього обладнання, необхідно мати в наявності люки.

Вибір конструкційного матеріалу, що визначається умовами експлуатації проектованого елемента, вузла або пристрою (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу навколишнього середовища, вимоги до якості виробу, що переробляється, тощо) , має здійснюватися так, щоб при низькій вартості і відсутності дефіциту матеріалу забезпечити ефективну технологію виготовлення елемента (виробу).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням продукту з утворенням кислого середовища, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12X18H10T ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати у температурному інтервалі - 256°C до + 525°C для корпусних елементів, до 600 ° С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному і гарячому стані, добре обробляється всіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12Х18Н10Т

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	Ti, %	S, %	P, %	E·10 ⁵ МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,12	2,0	0,8	17- 18	2- 11	0,3	0,8	0,02	0,035	2,1	216	530	40

Одним з недоліків цієї сталі є те, що її висока в'язкість робить її менш придатною для механічної обробки. Проте, враховуючи, що механічна обробка конструктивних елементів пристрою здійснюється виключно в місці з'єднання зварних елементів конструкції, цей фактор не має істотного впливу на загальну вартість виготовлення пристрою.

Матеріал зовнішнього оснащення, арматури, кріпильних елементів і т.д., що не мають контакту з середовищем, що переробляється, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності та досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20

C, %	Mn, %	Si, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %	As, %	S, %	P, %	E·10 ⁵ МПа	σ МПа	σ МПа	δ %
0,23- 0,3	0,5- 0,8	0,05- 0,19	0,3	0,5	0,3	0,08	0,05	0,04	2,0	280	400	23

2.2 Принцип роботи апарату

Схема безперервної роботи абсорбційної установки показано на рис 2.1.

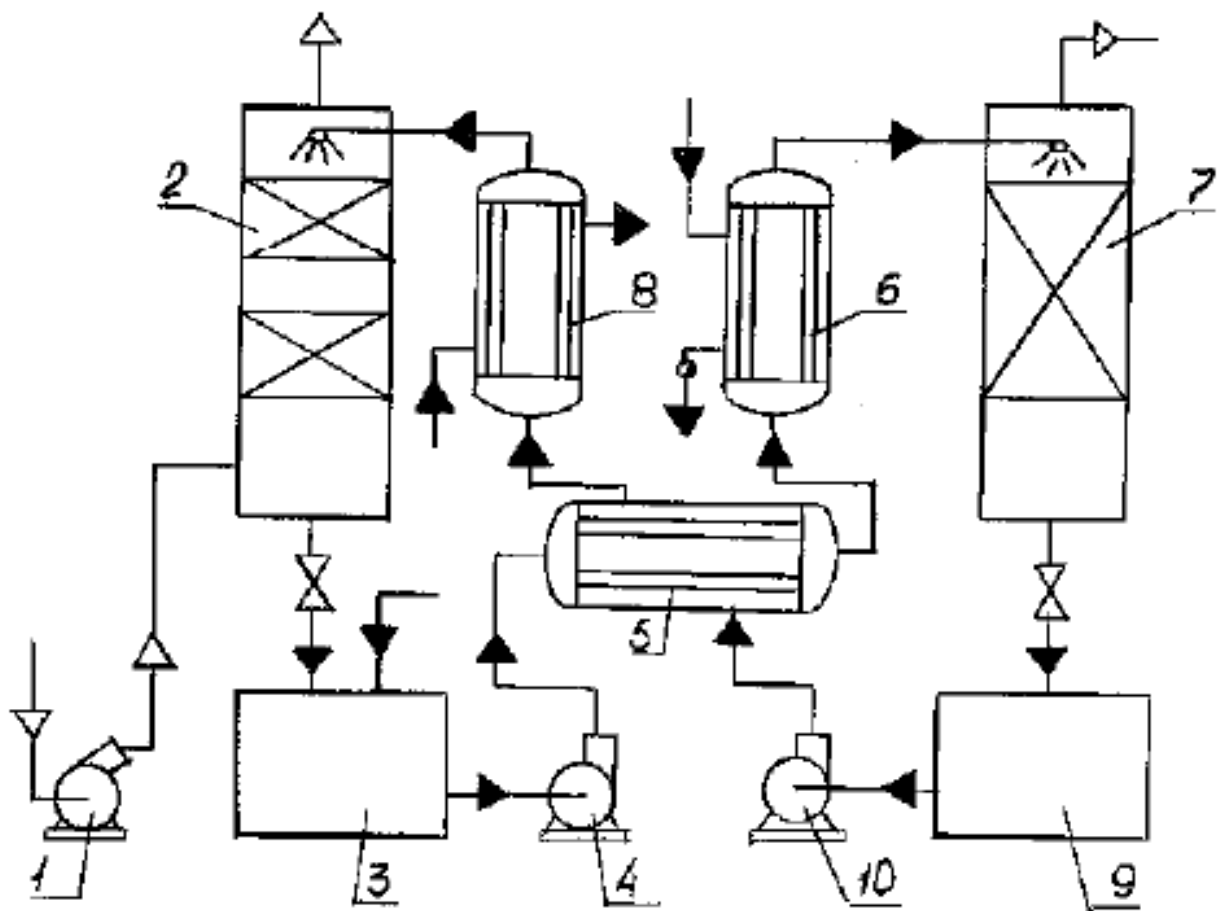


Рис 2.1 – Схема абсорбційної установки

1 – газодувка; 2 – абсорбер; 3 – збірка; 4 – насос; 5,6 – теплообмінники; 7-десорбер; 8 – холодильник; 9 – збірка гарячого розчину; 10 – насос.

Вихідна суміш, що містить абсорбент газова суміш газодувкою 1 нагнітається в нижню частині насадочного протиточного абсорбера 2, зрошуваного зверху охолодженим абсорбентом. При стіканні рідини по насадці відбувається масообмін між протиточно рухомими фазами, в результаті якого поглинається речовина із газової суміші і переходить в рідку фазу. Очищена газова суміш відводиться з верхньої частини абсорбера на подальшу переробку. Абсорбент, що збирається в збірнику 3 насосом 4

послідовно подається в теплообмінники 5 і 6, де підігрівається спочатку гарячим розчином, а потім насиченою водяною парою.

Підігрітий абсорбент подається зверху в десорбер 7, де відбувається процес десорбції поглиненої речовини, що виділяється з розчину у вигляді парогазової суміші, що відводиться з апарату на подальшу переробку.

Об'єднаним абсорбатом гарячий розчин збирається у збірнику 9, звідки насосом 11 відкачується в теплообмінник 5, при цьому розчин частково охолоджується. Остаточне охолодження розчину відбувається в холодильнику 8 за рахунок теплообміну з холодним теплоносієм. Охолоджений поглинач подається на розподільний зрошуючий пристрій, розміщений у верхній частині абсорбера.

2.3 Опис конструкції апарату

Насадкові абсорбери є колонами, завантажені насадкою з тіл різної форми (кільця Рашига, кільця Палля і т.д.). Зіткнення газу з рідиною відбувається в основному на змоченій поверхні насадки, по якій стікає зрошуюча рідина. Поверхня насадки в одиниці об'єму апарату може бути досить великою і тому в порівняно невеликих обсягах можна створити значні поверхні масопередачі. Однак у ряді випадків активна поверхня контакту менша за геометричну поверхню

Насадковий абсорбер являє собою колону (рисунок 2.1), якої вміщена підтримуюча решітка 1 (опорна); на цій решітці укладений шар насадки 2. Опорні грати мають отвори для проходження газу та стоку рідини. Остання за допомогою розподільника 3 рівномірно зрошує насадні тіла та стікає вниз. По всій висоті шару насадки рівномірного розподілу рідини по перерізу колони зазвичай не досягається, що пояснюється пристіночним ефектом - більшою щільністю укладання насадки в центральній частині колони, ніж у стінок. Внаслідок цього рідина має тенденцію розтікатися від центральної частини колони до її стінок. Тому для поліпшення змочування насадки в колонах

великого діаметра насадку іноді укладають шарами заввишки 2-3 м і під кожною секцією, крім нижньої, встановлюють перерозподільники рідини 4.

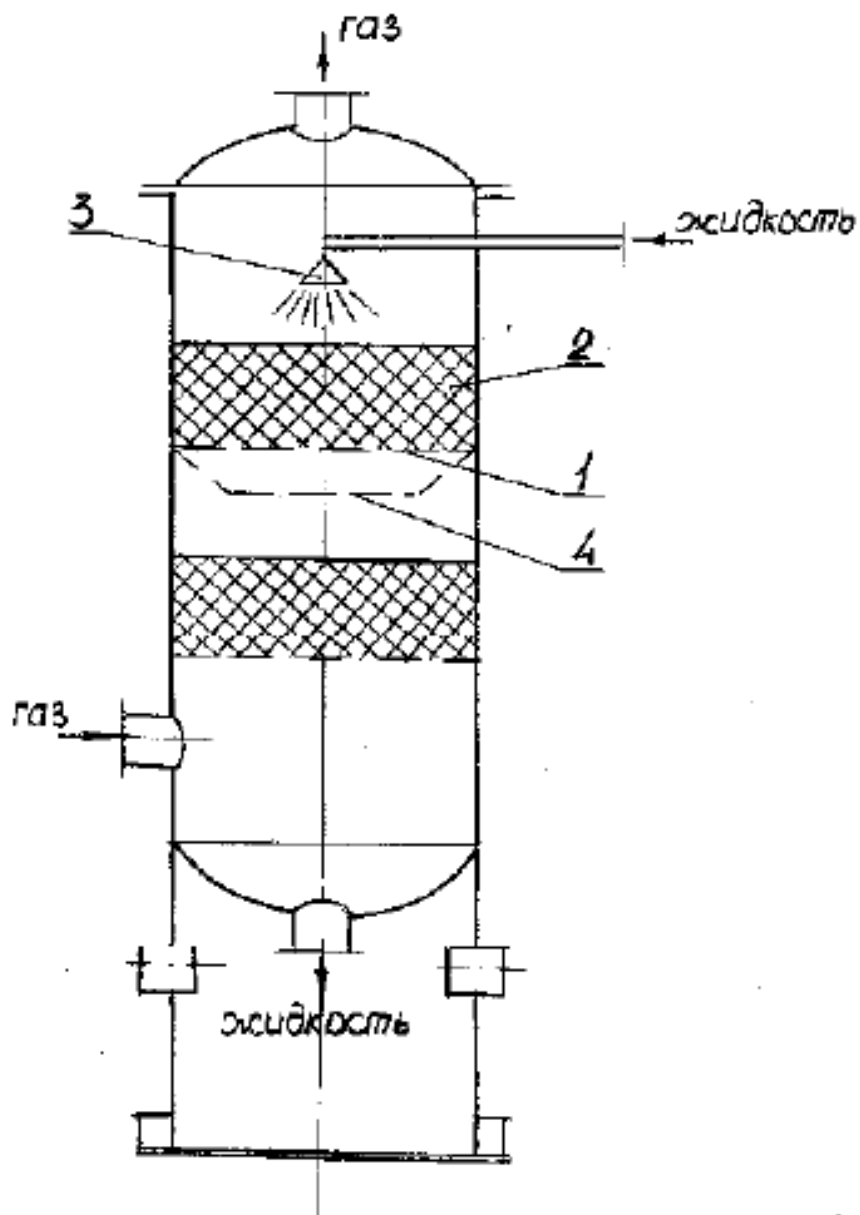


Рисунок 2.2. - Насадковий абсорбер 1 – грати; 2 – насадка; 3 – розподільник; 4 – перерозподільник рідини

3 Технологічні розрахунки

3.1 Матеріальний баланс і технологічні розрахунки

Баланс мас поглинача характеризується наступною формулою:

$$M = G(Y_1 - Y_2) = L(X_1 - X_2) \quad 3.1$$

де G – кількість інертного газу, кг/с;

L – кількість поглинача, кг/с;

Y – вміст компонента у газовому середовищі, кг/кг;

X – вміст компонента у рідкій фазі, кг/кг.

Об'ємні витрати в робочих умовах на вході в абсорбер:

$$V_{\text{см}} = V_0 \frac{(t + 273) \cdot P_0}{273 \cdot P} \quad 3.2$$

$$V_{\text{см}} = \frac{8000}{3600} \cdot \frac{(22 + 273) \cdot 0,1}{273 \cdot 1,2} = 0,2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Густина сірководню в нормальних умовах $\rho_c = 1,54$ кг/м³, щільність повітря $\rho_A = 1,25$ кг/м³, щільність метану $\rho_M = 0,72$ кг/м³, тоді густина газової суміші за нормальних умов [2]:

$$\rho_{\text{см}} = y_c \cdot \rho_c + y_M \cdot \rho_M + (1 - y_c - y_M) \rho_A \quad 3.3$$

де y_c і y_M вміст сірководню та метану в газовій суміші в об'ємних відсотках;

$$\rho_{\text{см}} = 0,28 \cdot 1,54 + 0,894 \cdot 0,72 + (1 - 0,28 - 0,894) 1,25 = 0,86 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Щільність газової суміші в робочих умовах:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{\text{см}} \cdot \frac{273 \cdot P}{(t + 273) \cdot P_0} \quad 3.4$$

$$\rho_{\Gamma} = 0,86 \cdot \frac{273 \cdot 1,2}{(22 + 273) \cdot 0,1} = 9,6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Масова і об'ємна витрата поглиненого газу на вході в поглинач:

$$G_{\Gamma} = V_{\text{CM}} \cdot C_{\gamma} \quad 3.5$$

$$V_{\Gamma} = \frac{G_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} \quad 3.6$$

де C_{γ} – вміст поглиненого газу у вхідній газовій суміші в умовах експлуатації; г/м³

$$G_{\Gamma} = 0,2 \cdot \frac{466}{1000} = 0,093 \frac{\text{КГ}}{\text{С}}$$

$$V_{\Gamma} = \frac{0,093}{9,6} = 9,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{М}^3}{\text{С}}$$

Абсолютна молярна (об'ємна) частка поглиненого компонента вхідній газовій суміші:

$$y_{\text{H}} = \frac{V_{\Gamma}}{V_{\text{CM}}} \quad 3.7$$

$$y_{\text{H}} = \frac{9,6 \cdot 10^{-3}}{0,2} = 48 \cdot 10^{-3}$$

Масові витрати вихідної газової суміші і інертного носія:

$$G_{\text{CM}} = V_{\text{CM}} \cdot \rho_{\Gamma} \quad 3.8$$

$$G_{\text{IH}} = G_{\text{CM}} - G_{\Gamma} \quad 3.9$$

$$G_{\text{CM}} = 0,2 \cdot 9,6 = 1,9 \frac{\text{КГ}}{\text{С}}$$

$$G_{\text{IH}} = 1,9 - 0,093 = 1,8 \frac{\text{КГ}}{\text{С}}$$

Відносна молярна і масова частка поглинених компонентів у вхідній газовій суміші:

$$Y_{\text{H}} = \frac{y_{\text{H}}}{1 - y_{\text{H}}} \quad 3.10$$

$$Y_{\text{H}} = \frac{48 \cdot 10^{-3}}{1 - 48 \cdot 10^{-3}} = 50,4 \cdot 10^{-3}$$

$$Y_{\text{H}}^* = \frac{G_{\Gamma}}{G_{\text{iH}}} \quad 3.11$$

$$Y_{\text{H}}^* = \frac{0,093}{1,8} = 48,95 \cdot 10^{-3}$$

Масові витрати компонента, що абсорбується і не поглинається в газовій суміші на виході з апарату:

$$M = \frac{G_{\Gamma} \cdot G_{\Gamma}}{100} \quad 3.12$$

$$M = \frac{0,093 \cdot 94}{100} = 0,087 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$G'_{\Gamma} = G_{\Gamma} - M \quad 3.13$$

$$G'_{\Gamma} = 0,093 - 0,087 = 6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Тиск газової суміші:

$$P = 1,2 \text{ МПа} = 9003 \text{ мм. рт. ст}$$

Коефіцієнт Генрі для сірководня:

$$E = 0,367 \cdot 10^6 \text{ мм. рт. ст}$$

Відносна мольна частка поглинається компонента рідини:

$$X_{\text{H}}^* = Y_{\text{H}} \cdot \frac{P}{E} \quad 3.14$$

$$X_{\text{H}}^* = 50,4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{9003}{0,367 \cdot 10^6} = 1,2 \cdot 10^{-3}$$

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

$$X_{\text{H}}^{*'} = X_{\text{H}}^* \cdot \frac{M_{\Gamma}}{M_{\text{B}}} \quad 3.15$$

де M_B – молярна маса води, кг/моль

$$X_H^* = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{32}{18} = 2,13 \cdot 10^{-3}$$

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

Витрата рідкого поглинача визначаємо з рівняння матеріального балансу:

$$M = G_{\text{ін}} \cdot (Y_H^* - Y_B'') \quad 3.16$$

де відносна масова частка поглиненого компонента в газовій суміші на виході з абсорбера:

$$Y_B'' = \frac{G'_r}{G_{\text{ін}}} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{1,8} = 3,3 \cdot 10^{-3}$$

$$M = 1,8 \cdot (48,95 \cdot 10^{-3} - 3,3 \cdot 10^{-3}) = 0,082$$

Витрата абсорбенту:

$$L = \frac{M}{X_H'' - X_B''} \quad 3.17$$

де відносна масова частка поглинається компонентом рідини внизу колони:

$$X_H'' = 0,92 \cdot X^* = 0,92 \cdot 2,13 \cdot 10^{-3} = 1,95 \cdot 10^{-3}$$

$$L = \frac{0,082}{1,95 \cdot 10^{-3} - 0} = 42,1 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Рухаюча сила процесу абсорбції:

$$\Delta Y_{\text{ср}}'' = \frac{\Delta Y_H'' - \Delta Y_B''}{\ln \frac{\Delta Y_H''}{\Delta Y_B''}} \quad 3.18$$

$$\Delta Y_H'' = Y_H - Y_H^* = 50,4 \cdot 10^{-3} - 48,95 \cdot 10^{-3} = 0,0015$$

$$\Delta Y_B'' = Y_B'' - Y_B^* = 3,3 \cdot 10^{-3} - 0 = 3,3 \cdot 10^{-3}$$

де

$$X_H = X_H'' \cdot \frac{M_B}{M_r} = 1,95 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{18}{32} = 1,1 \cdot 10^{-3}$$

$$Y_H^* = X_H \cdot \frac{E}{P} = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,367 \cdot 10^6}{9003} = 44,8 \cdot 10^{-3}$$

$$Y_H^{*'} = Y_H^* \cdot \frac{M_r}{M_B} = 44,8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{32}{18} = 0,08$$

Тоді

$$\Delta Y_{cp}'' = \frac{0,0015 - 3,3 \cdot 10^{-3}}{\ln \frac{0,0015}{3,3 \cdot 10^{-3}}} = 2,3 \cdot 10^{-3}$$

Число одиниць перенесення:

$$n_{oy} = \frac{Y_H'' - Y_B''}{\Delta Y_{cp}''} \quad 3.19$$

$$n_{oy} = \frac{48,95 \cdot 10^{-3} - 0}{2,3 \cdot 10^{-3}} = 21,3$$

З коефіцієнт дифузії сірководню у воді при температурі 20 °С:

$$D_{20} = 1,6 \cdot 10^{-9} \frac{M^2}{c}$$

за робочих умов:

$$D_{ж} = D_{20} [1 + 0,02 \cdot (t - 20)] = 1,6 \cdot 10^{-9} [1 + 0,02(22 - 20)] = 1,66 \cdot 10^{-9} \frac{M^2}{c}$$

3.2 Конструктивні розрахунки

Гранична швидкість газової суміші в апараті:

$$\lg \left(\frac{\omega_{пр}^2 \cdot a_H \cdot \rho_{см} \cdot \mu_{ж}^{0,16}}{g \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_{ж}} \right) = A - B \cdot \left(\frac{L}{G_{ін}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_{ж}} \right)^{0,125} \quad 3.20$$

Тут для кілець Рашига 35×35×4:

- питома поверхня, $a_n = 140 \text{ м}^2/\text{м}^3$;
- вільний обсяг, $\varepsilon = 0,78 \text{ м}^3/\text{м}^3$;
- еквівалентний діаметр, $d_э = 0,022 \text{ м}$;
- насипна щільність, $\rho = 530 \text{ кг}/\text{м}^3$;

Коли ви призначаєте дані, (для кілець Рашига $A = -0,073$; $B = 1,75[4]$):

$$\begin{aligned} \lg \left(\frac{\omega^2 \cdot 140 \cdot 2,81 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^{0,16}}{9,81 \cdot 0,78^3 \cdot 1000} \right) \\ = -0,073 - 1,75 \cdot \left(\frac{37,13}{3,27} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{8,66}{1000} \right)^{0,125} \end{aligned}$$

звідки гранична швидкість газу в колоні:

$$\omega_{\text{пр}} = 2,08 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Робоча швидкість газу:

$$\omega' = (0,75 \dots 0,9) \cdot \omega_{\text{пр}} = 0,75 \cdot 2,08 = 1,56 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Діаметр абсорбційної колони:

$$D = \sqrt{\frac{V_{\text{см}}}{0,785 \cdot \omega'}} \quad 3.21$$

$$D = \sqrt{\frac{0,2}{0,785 \cdot 1,56}} = 0,5 \text{ м}$$

Приймаємо $D = 500 \text{ мм}$, тоді швидкість газу колоні.

$$\omega = \frac{V_{\text{см}}}{0,785 \cdot D^2} \quad 3.22$$

$$\omega = \frac{0,2}{0,785 \cdot 0,5^2} = 1,02 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерій Re для газової фази:

$$Re_{\Gamma} = \frac{4 \cdot \omega \cdot \rho_{\Gamma}}{a_{\text{H}} \cdot \mu} \quad 3.23$$

$$Re_{\Gamma} = \frac{4 \cdot 1,02 \cdot 9,6}{160 \cdot 0,0104 \cdot 10^{-3}} = 23538,5$$

Дифузійний критерій для Pr газу:

$$Pr_{\Gamma} = \frac{\mu_{\text{см}}}{\rho_{\Gamma} \cdot D_{\Gamma}} \quad 3.24$$

$$Pr_{\Gamma} = \frac{0,0104 \cdot 10^{-3}}{9,6 \cdot 8,9 \cdot 10^{-6}} = 0,122$$

Критерій Nu для газу:

$$Nu_{\Gamma} = 0,407 \cdot Re_{\Gamma}^{0,655} \cdot Pr_{\Gamma}^{0,33} \quad 3.25$$

$$Nu_{\Gamma} = 0,407 \cdot 23538,5^{0,655} \cdot 0,122^{0,33} = 229,95$$

Коефіцієнт масовіддачі для газу:

$$\beta_{\Gamma} = \frac{Nu_{\Gamma} \cdot D_{\Gamma}}{d_e} \quad 3.26$$

$$\beta_{\Gamma} = \frac{229,95 \cdot 8,9 \cdot 10^{-6}}{0,022} = 93,03 \cdot 10^{-3} \frac{\text{M}}{\text{c}}$$

Аналогічно визначимо значення критеріїв для рідини.

$$\delta_{\text{пр}} = \left(\frac{\mu_{\text{ж}}^2}{\rho_{\text{ж}}^2 \cdot g} \right)^{1/3} \quad 3.27$$

$$\delta_{\text{пр}} = \left(\frac{(1 \cdot 10^{-3})^2}{1000^2 \cdot 9,81} \right)^{1/3} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{M}$$

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

$$Re_{\text{ж}} = \frac{4 \cdot L}{S \cdot a_{\text{H}} \cdot \psi \cdot \mu_{\text{ж}}} \quad 3.28$$

$$Re_{\text{ж}} = \frac{4 \cdot 42,1}{0,2 \cdot 160 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 10525$$

$$Pr_{\Gamma} = \frac{\mu_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}} D_{\text{ж}}} \quad 2.29$$

$$Pr_{\Gamma} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}} = 0,63$$

$$Nu_{\text{ж}} = 0,0021 \cdot Re_{\text{ж}}^{0,75} \cdot Pr_{\text{ж}}^{0,5} \quad 3.30$$

$$Nu_{\text{ж}} = 0,0021 \cdot 10525^{0,75} \cdot 0,63^{0,5} = 1,73$$

$$\beta_{\text{ж}} = \frac{Nu_{\text{ж}} \cdot D_{\text{ж}}}{\delta_{\text{пр}}} \quad 3.31$$

$$\beta_{\text{ж}} = \frac{1,73 \cdot 1,6 \cdot 10^{-6}}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Коефіцієнт масовіддачі:

$$\beta_y = \beta_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} \quad 3.32$$

$$\beta_y = 93,03 \cdot 10^{-3} \cdot 9,6 = 0,89$$

$$\beta_x = \beta_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{ж}} \quad 3.33$$

$$\beta_x = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 5,5$$

Коефіцієнт масопередачі в апараті по відношенню до газової фази:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}} \quad 3.34$$

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{0,89} + \frac{34,9}{5,5}} = 0,134 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

Середній коефіцієнт розподілу

$$m = \frac{E}{p} \quad 3.35$$

$$m = \frac{0,367 \cdot 10^6}{10503} = 34,9$$

Поверхня насадки

$$F = \frac{M}{K_y \cdot \Delta Y''_{cp}} \quad 3.36$$

$$F = \frac{0,082}{0,134 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3}} = 266,1$$

Висота шару насадки

$$H_H = \frac{F}{0,785 \cdot D^2 \cdot a_H} \quad 3.37$$

$$H_H = \frac{266,1}{0,785 \cdot 0,5^2 \cdot 160} = 8,5$$

3.3 Гідравлічний опір апарата [2]

Величину Δp знаходимо за формулою:

$$\Delta p = \Delta p_c \cdot 10^{b \cdot U} \quad 3.39$$

де Δp_c – гідравлічний опір сухої (незрошуваної насадки), Па; U – густина зрошення, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; b – коефіцієнт.

Для кілець Рашига (4, с.108)

$$b = 184$$

Гідравлічний опір сухої насадки

$$\Delta p_c = \lambda \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \frac{\omega^2 \rho_r}{2} \quad 3.40$$

де λ – коефіцієнт опору насадки.

$$\lambda = \frac{16}{Re^{0,2}} \quad 3.41$$

$$\lambda = \frac{16}{23538,5^{0,2}} = 2,14$$

Тоді

$$\Delta p_c = 2,14 \cdot \frac{8,5}{0,022} \cdot \frac{9,6 \cdot 1,02^2}{2} = 1,99$$

Щільність зрошення

$$U = \frac{L}{\rho_{\text{ж}} \cdot S} \quad 3.42$$

$$U = \frac{41,1}{1000 \cdot 0,2} = 0,21 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$$

Гідравлічний опір зрошуваної насадки

$$\Delta p = 1,99 \cdot 10^{184 \cdot 0,007} = 38,62 \text{ Па}$$

4 Розрахунки апарату на міцність і герметичність

4.1 Розрахунок товщини стінки корпусу і кришки

Вихідні дані:

внутрішній діаметр обичайки $D = 500$ мм;

робочій тиск $p = 1,2$ МПа;

матріал колони – сталь 12Х18Н10Т

температура середовища у колоні $t = 22^\circ\text{C}$.

Допустима напруга в робочому стані

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^* \quad 4.1$$

$$[\sigma] = 1 \cdot 202 = 202 \text{ МПа}$$

де $\sigma^* = 202$ МПа для сталі 12Х18Н10Т за температури 22°C [6]; $\eta = 1$, тому що апарат виготовлений з листового прокату.

Коефіцієнт міцності поздовжніх зварних швів обичайки $\varphi = 1,0$ так як зварювання зроблено автоматичним способом.

Розрахункова товщина стінки циліндричної обичайки

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p} \quad 4.2$$

$$s_p = \frac{1,2 \cdot 500}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 1,2} = 1,5 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки

$$s = s_p + c \quad 4.3$$

де c – надбавка до розрахункової товщини, яка визначається за формулою

$$c = c_1 + c_2 + c_3 \quad 4.4$$

де c_1 - надбавка для компенсації корозії та ерозії; c_2 - надбавка для компенсації мінусового допуску; c_3 - технологічне збільшення.

Надбавка для компенсації корозії визначається за формулою

$$c_1 = \Pi \cdot \tau \quad 4.5$$

де Π – швидкість корозії, мм/рік ; τ – термін служби апарату.

При терміні служби апарату 10 років і прийнявши $c_2 = 0$ і $c_3 = 0$ отримаємо

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

$$s = 1,5 + 1 = 2,5$$

Враховуючи напругу стиснення від загальної маси колони, а також можливість установки апарату на відкритому майданчику, де діють вітрові навантаження, із запасом приймаємо $s = 6$ мм,

Розрахункова товщина стінки еліптичної кришки

$$s_{\text{кр.р}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p} \quad 4.6$$

$$s_{\text{кр.р}} = \frac{1,2 \cdot 500}{2 \cdot 1 \cdot 202 - 0,5 \cdot 1,2} = 1,5$$

Виконавча товщина стінки кришки

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

З метою уніфікації сортаменту матеріалу для виготовлення апарату приймаємо $s_{\text{кр}} = 6$ мм

4.2 Розрахунок і вибір опори

Вибір типу опори залежить від низки умов: місця встановлення апарату, співвідношення висоти і діаметра апарату, його маси і т.д. При відношенні $H/D \geq 5$ вибрано опору, зображену на кресленні колони. За ГОСТ 26-467-78

вибираємо циліндричну опору виконання 3 і проводимо перевірочні розрахунки.

Насипна щільність насадки

$$\rho = 540 \text{ кг/м}^3$$

тоді маса насадки

$$m_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot \rho \quad 4.7$$

$$m_1 = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 8,5 \cdot 540 = 900,8 \text{ кг}$$

Маса обичайки колони

$$m_2 = \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad 4.8$$

$$m_2 = 3,14 \cdot (0,5 + 0,006) \cdot 0,006 \cdot 8,5 \cdot 7850 = 636,1 \text{ кг}$$

Маса оснастки колони приймається у розмірі 20% від маси обичайки

$$m_3 = 0,2 \cdot m_2 \quad 4.9$$

$$m_3 = 0,2 \cdot 636,1 = 127,21 \text{ кг}$$

Об'єм колони $V = 2,63 \text{ м}^3$, тоді маса води при гідравлічних випробуваннях

$$m_4 = V \cdot \rho_{\text{в}} \quad 4.10$$

$$m_4 = 2,63 \cdot 1000 = 2630 \text{ кг}$$

Наведене навантаження на опору

$$Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g \quad 4.11$$

$$Q = (900,8 + 636,1 + 127,21 + 2630) \cdot 9,81 = 42125,22 \text{ Н} = 42,13 \text{ кН}$$

Міцність зварного з'єднання опори з корпусом визначаємо за умовою

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot a_1} \leq \varphi_s \cdot [\sigma] \quad 4.12$$

де $a_1 = 5$ мм – розрахункова товщина звареного шва; φ_s – коефіцієнт міцності зварного шва, зазвичай приймається $\varphi_s = 0,7$.

Тоді

$$\sigma = \frac{4 \cdot 42,13 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 500 \cdot 5} = 21,47 \text{ МПа} \leq 0,7 \cdot 157 = 109,9 \text{ МПа}$$

Отже, умова міцності зварного шва виконується.

4.3 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки і корпусу апарату $D = 500$ мм і $p = 1,2$ МПа вибираємо за ДСТУ ISO 7005-1 з плоскими приварними фланцями типу 01.

Товщина втулки фланця:

$$s < s_o < 1,3s, \quad 4.13$$

де $s = 11$ мм – товщина обичайки апарата,

$$11 < s_o < 14,3$$

Приймаємо $s_o = 13$ мм.

Перевіряємо виконання умови:

$$s_o - s < 5 \text{ мм}, \quad 4.14$$

$$13 - 11 = 2 \text{ мм} < 5 \text{ мм} - \text{умова виконується.}$$

Висота втулки фланця:

$$h_b \geq 0,5 \cdot \sqrt{D \cdot (s_o - c)}, \quad 4.15$$

$$h_b \geq 0,5 \cdot \sqrt{500 \cdot (13 - 1)} = 38,73 \text{ мм.}$$

Приймаємо $h_b = 40$ мм.

Визначаємо діаметр бовтової окружності:

$$D_6 = D + 2 \cdot (2 \cdot s_o + d_6 + u), \quad 4.16$$

де $d_6 = 12$ мм – діаметр бовтів при $D = 500$ мм і $p = 1,2$ МПа; $u = 4 \div 6$ мм – нормативний зазор між гайкою і втулкою.

$$D_6 = 0,5 + 2 \cdot (2 \cdot 0,013 + 0,012 + 0,005) = 0,586 \text{ м.}$$

Приймаємо $D_6 = 0,6$ м .

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_\phi \geq D_6 + a, \quad 4.17$$

де $a = 32$ мм для гайок шестигранних (звичайних) при $d_6 = 12$,

$$D_\phi = 600 + 30 = 630 \text{ мм.}$$

Приймаємо $D_\phi = 0,63$ м.

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою:

$$D_\pi = D_6 - e, \quad 4.18$$

де $e = 22$ мм для плоских прокладок при $d_6 = 12$,

$$D_\pi = 630 - 22 = 608 \text{ мм.}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{ср.}\pi} = D_\pi - b_\pi, \quad 4.19$$

де $b_\pi = 12$ мм – ширина прокладки при $D_\pi = 600$ мм.

$$D_{\text{ср.}\pi} = 608 - 12 = 596 \text{ мм.}$$

Матеріал прокладки – сталь низьковуглецева товщиною 4 мм.

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

$$Z_6 = \frac{\pi \cdot D_6}{t_6}, \quad 4.20$$

де t_{ϕ} – крок бовтів, $t_{\phi} = (3,0 \div 3,8)d_{\phi}$ при $p = 1,2$ МПа;

$$t_{\phi} = 3,0 \cdot 12 = 36 \text{ мм};$$

$$Z_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 600}{36} = 52,33.$$

Приймаємо найближче кратне чотирьом значення $Z_{\phi} = 54$.

Висота фланця визначаємо за формулою:

$$h = \lambda_{\phi} \cdot \sqrt{D \cdot s_e}, \quad 4.21$$

де $\lambda_{\phi} = 0,32$ – коефіцієнт при $p = 1,2$ МПа; s_e – еквівалентна товщина втулки фланця:

$$s_e = \alpha \cdot s_o, \quad 4.22$$

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

$$s_e = 1 \cdot 13 = 13 \text{ мм};$$

$$h = 0,32 \cdot \sqrt{500 \cdot 13} = 25,8 \text{ мм}.$$

Приймаємо $h = 30$ мм.

Розрахункова довжина бовта між опорними поверхнями головки бовта і гайки:

$$l_{\phi} = l_{\phi o} + 0,28 \cdot d_{\phi}; \quad 4.23$$

$$l_{\phi o} = 2 \cdot (h + s_{\Pi}); \quad 4.24$$

$$l_{\phi o} = 2 \cdot (30 + 2) = 64 \text{ мм};$$

$$l_{\phi} = 64 + 0,28 \cdot 12 = 67,36 \text{ мм}.$$

Приймаємо $l_{\phi} = 68$ мм.

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання:

$$Q_d = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}}^2}{4}, \quad 4.25$$

де $p_R = 1,2$ МПа – внутрішній надлишковий тиск в апараті,

$$Q_d = \frac{1,2 \cdot 3,14 \cdot 596^2}{4} = 3,35 \text{ МН.}$$

Реакція прокладки при робочих умовах:

$$R_{\Pi} = \pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_e \cdot k_{\text{пр}} \cdot p_R, \quad 4.26$$

де $k_{\text{пр}} = 3,25$ – для пароніта; b_e – ефективна ширина прокладки ($b_e = 0,12\sqrt{b} = 0,12\sqrt{0,012} = 0,012$ м).

$$R_{\Pi} = 3,14 \cdot 0,596 \cdot 0,012 \cdot 3,25 \cdot 1,2 = 0,1 \text{ МН.}$$

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:

$$Q_t = 0.$$

Лінійна податливість бовта:

$$Y_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot Z_6}; \quad 4.27$$

$$Y_6 = \frac{67,36}{2,05 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 54} = 25,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{М}}{\text{МН}}.$$

Лінійна податливість прокладки:

$$Y_{\Pi} = \frac{S_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\Pi} \cdot E_{\Pi}}; \quad 4.28$$

$$Y_{\Pi} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 0,596 \cdot 0,012 \cdot 211,9} = 42,02 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}}.$$

Кутова податливість фланця:

$$Y_{\Phi} = \frac{[1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E}, \quad 4.29$$

де ν – безрозмірний параметр; ψ_2 – коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$v = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1}, \quad 4.30$$

де ψ_1, j – коефіцієнти:

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg k; \quad 4.31$$

$$k = \frac{D_\phi}{D} \text{ – для плоских фланців;}$$

$$k = \frac{0,63}{0,5} = 1,26;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,26 = 0,13,$$

$$\psi_2 = \frac{k + 1}{k - 1} = \frac{1,26 + 1}{1,26 - 1} = 8,7;$$

$$j = \frac{h}{s_c} = \frac{0,03}{0,013} = 2,3.$$

Тоді

$$v = [1 + 0,9 \cdot 0,32 \cdot (1 + 0,13 \cdot 2,3^2)]^{-1} = 0,67;$$

$$Y_\phi = \frac{[1 - 0,67 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,32)] \cdot 8,7}{0,03^3 \cdot 0,367 \cdot 10^6} = 0,12 \frac{\text{М}}{\text{МН}}.$$

Визначаємо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$k_{\text{ж}} = \frac{Y_\phi + 0,5Y_\phi(D_\phi - D - s_o)(D_\phi - D_{\text{ср.п}})}{Y_\pi + Y_\phi + Y_\phi(D_\phi - D_{\text{ср.п}})^2}, \quad 4.32$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{25,9 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 0,12 \cdot (0,6 - 0,5 - 0,013)(0,6 - 0,596)}{42,02 \cdot 10^{-5} + 25,9 \cdot 10^{-3} + 0,12 \cdot (0,6 - 0,596)^2} = 0,99.$$

Визначаємо бовтове навантаження. В умовах монтажу:

$$p_{\text{б1}} = \left\{ \begin{array}{l} k_{\text{ж}} \cdot Q_d + R_\pi \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_\pi \cdot p_{\text{пр}} \end{array} \right\}, \quad 4.33$$

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

$$p_{61} = \left\{ \begin{array}{l} 0,99 \cdot 3,35 + 0,1 = 3,4 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,596 \cdot 0,012 \cdot 20 = 0,23 \end{array} \right\} = 3,4 \text{ МН.}$$

При робочих умовах:

$$p_{62} = p_{61} + (1 - k_{ж}) \cdot Q_d + Q_t, \quad 4.34$$

$$p_{62} = 3,4 + (1 - 0,99) \cdot 3,35 + 0 = 3,43 \text{ МН.}$$

Перевірка міцності та герметичності з'єднання.

Умова міцності бовтів:

$$\frac{p_{61}}{Z_6 \cdot f_6} \leq [\sigma_6]^{20}, \quad 4.35$$

$$\frac{p_{62}}{Z_6 \cdot f_6} \leq [\sigma_6]^t, \quad 4.36$$

де $[\sigma_6]^{20} = 157 \text{ МПа}$ – для матеріалу бовтів при температурі 22°C .

$$\frac{3,4}{54 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 26,79 \text{ МПа} < 157 \text{ МПа} \text{ – умова виконується;}$$

$$\frac{3,43}{54 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 27,03 \text{ МПа} < 157 \text{ МПа} \text{ – умова виконується.}$$

Визначимо приведенний згинаючий момент за формулою:

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{61} \\ 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{62} \end{array} \right\}, \quad 4.37$$

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (0,6 - 0,596) \cdot 3,4 = 0,0068 \\ 0,5 \cdot (0,6 - 0,596) \cdot 3,43 = 0,0069 \end{array} \right\} = 0,0069 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

Для прокладки із пароніта умова міцності рахується за формулою:

$$\frac{p_{\text{бmax}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} \leq p_{\text{пр}}, \quad 4.38$$

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

$$p_{\text{бmax}} = \max\{p_{61}; p_{62}\} = \max\{3,4; 3,43\} = 3,43 \text{ МН.}$$

$$\frac{3,43}{3,14 \cdot 0,596 \cdot 0,012} = 127,34 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа},$$

тобто умова міцності виконується.

Для перерізу, обмеженого розміром s_o перевіряємо умову за формулою:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma_0], \quad 4.39$$

де $\varphi = 0,9$ – коефіцієнт міцності зварних швів.

Меридіальне напруження у втулці від внутрішнього тиска:

$$\sigma_m = \frac{p_p \cdot D}{4(s_o - c)}, \quad 4.40$$

$$\sigma_m = \frac{1,2 \cdot 0,5}{4(0,013 - 0,001)} = 12,5 \text{ МПа}.$$

Тангенціальне напруження у втулці від внутрішнього тиску визначається за формулою:

$$\sigma_t = \frac{p_p \cdot D}{2(s_o - c)}, \quad 4.41$$

$$\sigma_t = \frac{1,2 \cdot 0,5}{2(0,013 - 0,001)} = 25 \text{ МПа}.$$

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

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{cp} \cdot M_0 \cdot v}{D \cdot (s_o - c)^2}, \quad 4.42$$

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

$$T_{cp} = \frac{D_{II}^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_{II}}{D}\right) - D^2}{(1,05 \cdot D^2 + 1,945 \cdot D_{II}^2) \cdot \left(\frac{D_{II}}{D} - 1\right)}, \quad 4.43$$

$$T_{\text{cp}} = \frac{0,608^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{0,608}{0,5}\right) - 0,5^2}{(1,05 \cdot 0,5^2 + 1,945 \cdot 0,608^2) \cdot \left(\frac{0,608}{0,5} - 1\right)} = 1,83.$$

$$\sigma_0 = 1 \cdot \frac{1,83 \cdot 0,0069 \cdot 0,67}{0,5 \cdot (0,013 - 0,001)^2} = 117,5 \text{ МПа.}$$

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

$$[\sigma_0] = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 0,367 \cdot 10^6 = 1101 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sqrt{(117,5 + 12,5)^2 + 25^2} - (117,5 + 12,5) \cdot 25 = 119,5 < 0,95 \cdot 540 \text{ МПа;}$$

119,5 МПа < 540 МПа – умова міцності виконана.

Окружний тиск у кільці фланця:

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{D \cdot h^2}, \quad 4.44$$

$$\sigma_k = \frac{0,0069 \cdot [1 - 0,67 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,32)] \cdot 8,7}{0,5 \cdot 0,03^2} = 18,28 \text{ МПа.}$$

Визначаємо кут повороту фланця за формулою:

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D}{E \cdot h} \leq [\Theta], \quad 4.45$$

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

$$\Theta = \frac{18,28 \cdot 0,5}{0,367 \cdot 10^6 \cdot 0,03} = 0,0008 \text{ рад} < 0,009 \text{ рад,}$$

тобто умова герметичності з'єднання виконується.

5 Монтаж та ремонт апарата

5.1 Монтаж розробленого апарата

Встановлення вставного абсорбера для видалення сірководню з повітряної суміші є важливим етапом у реалізації проекту і вимагає ретельного планування та виконання. Відповідність технічним вимогам і дотримання стандартів безпеки мають вирішальне значення для успішного монтажу.

Правильна організація монтажних робіт залежить від наявності повністю укомплектованого та готового до використання обладнання. Процес монтажу обладнання регулюється «Основними технічними вимогами монтажних організацій до хімічного обладнання».

Обладнання, що надається, має відповідати таким основним вимогам, які визначають його якість і максимальну готовність:.

- 1) При установці пристроїв колонного типу вкрай важливо мати монтажні фітинги або інші захватні пристрої.
- 2) Кожна арматура або ємність повинні мати фланець, робочу прокладку та кріпильні деталі.
- 3) Опорна основа повинна мати регульовальні гвинти, за допомогою яких можна вирівнювати обладнання на фундаменті як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах.
- 4) Пристрої, що мають зовнішнє і внутрішнє теплоізоляційні захисні покриття, повинні бути забезпечені зварними деталями для кріплення цих покриттів і підготовленими поверхнями.
- 5) Апарати та посудини, що проходять гідравлічні випробування на місці монтажу, повинні мати спеціальну арматуру для встановлення вентиля, який пропускає повітря при наповненні приладу водою, підключеному манометрі та повному зливі води.

6) Для забезпечення стійкості колонного пристрою, якщо він має зовнішню ізоляцію згідно з вимогами проекту, необхідно передбачити спеціальні гайки з нарізним різьбленням для кріплення шпильок. Бобишки розташовуються в нижній і верхній секціях приладу одночасно, під кутом 90 °С.

7) Апарат, ємність або транспортний вузол, що надсилаються виробником до місця встановлення, повинні бути позначені яскравою фарбою із зазначенням місць стропування. Вага пристрою або його компонентів повинна бути чітко позначена яскравою фарбою на пристрої або вузлі в помітному місці. Якщо пристрій поставляється окремими комплектуючими, необхідно, щоб знімні частини мали монтажне маркування.

Процес монтажу передбачає розміщення окремих стрижнів на фланці фундаменту, який потім з'єднується з пристроєм. Перед їх видаленням важливо оглянути горизонтальну площину королів, що залишилися. Відхилення має перевищувати 1 мм на кожні 0,3 м діаметра пристрою, але весь діаметр має бути більше 2 мм.

Встановлення фланцевого з'єднання слід виконувати без будь-якої недбалості, переконавшись, що болт легко входить в отвір без натягу. Фланцеве з'єднання необхідно закріпити, затягнувши гайку болта або шпильку в протилежному напрямку, одночасно забезпечуючи щільне прилягання. Останній етап кріплення фланцевого з'єднання приладу TSG за допомогою азбестового шнура повинен бути виконаний, коли пристрій нагріто паром до 60°C.

Який з окремих компонентів є лінійкою, найпростіше встановити стовпчиком. Існує два способи встановлення системи: шляхом розширення та розширення, вибір способу в першу чергу залежить від наявного обладнання для підйому та транспортування системи. Якщо є кран, а висота підйому перевищує загальну висоту колонного пристрою, а вантажопідйомність перевищує вагу одного короля, доцільно використовувати метод будівництва

перед встановленням кожного короля. Кронштейни для огорожі повинні бути надійно приварені. Через ці опори встановлюються з'єднання і з'єднання цг.

Спосіб вирощування зручний при установці пристрою цангового ряду на наявну книжкову полицю з монтажною балкою. У цьому сценарії корони кріпляться до фундаменту за допомогою трактора або монтажних кранів і обертових блоків, закріплюються в попередньо зібраних коронах і можуть бути встановлено за допомогою нетрадиційного методу вирощування поза книжковою шафою. Для створення порталу дві монтажні стійки з'єднують між собою за допомогою крокв, розташованих над ними. Решта дії виконуються так само, як і при установці на книжкову полицю.

5.2 Ремонт апарата

Експлуатація насадкового абсорбера для поглинання сірководню з повітряної суміші, потребує технічного обслуговування та ремонту, щоб гарантувати його ефективне функціонування та подовжити термін служби. Ремонт абсорбера можна планувати завчасно (профілактичний) або проводити за потреби (аварійний).

Графіки і плани технічного обслуговування обладнання складаються в певному порядку згідно з рекомендаціями, викладеними в чинних нормативних документах планово-попереджувального ремонту. Технічне управління виробничого цеху подає до відділу головного механіка підприємства проект річного плану-графіка ремонту обладнання з урахуванням дати останнього їх ремонту. Відділ головного механіка з урахуванням цехових проектів планів і графіків створює комплексний план ремонту обладнання підприємства.

Підготовка до ремонту включає:

- 1) перед початком ремонту вкрай важливо провести ретельний технічний огляд обладнання.

- 2) створення проектно-кошторисної документації на роботи, які необхідно виконати.
- 3) створення та розповсюдження керівних принципів діяльності підприємства.
- 4) систематизація завдань.

Основною причиною пошкодження масообмінного обладнання колони є накопичення осаду всередині колони та псування її компонентів. Царгові колони повністю розібрані. Механізм підйому вантажу розташований над колоною, що дозволяє від'єднувати всі частини окремо. Якщо неможливо розмістити підйомний механізм над колоною, процес демонтажу починають з нижньої частини.

Процес ремонту колонного апарату складається з декількох етапів, починаючи з видалення робочого середовища з апарату. Після видалення, колону потім пропарюють водяною парою для видалення будь-яких залишкових газових парів. Після процесу пропарювання колону промивають водою, що сприяє її швидшому охолодженню. Ремонтні роботи не можна починати, якщо температура води перевищує 50°C. Пропарену і промиту колонку від'єднують від усіх приладів і комунікацій, у фланцеві з'єднання встановлюють глухі заглушки. Щоразу, коли штекер встановлюється або видаляється, це документується у спеціальному журналі.

Після розбирання царгових колон проводиться ремонт їх ґрат. Щілини в царгах ущільнюються азбестовим або фторопластовим шнуровим ущільнювачем. При знятті решіток азбест і ФУМ витягуються за допомогою гаків і зубила. Догляд за решітками передбачає їх очищення та заміну будь-яких пошкоджених або зношених частин. Вирішальним етапом при складанні царг є вставка прокладок між дротяними поверхнями і кріплення царг болтами. Щільність з'єднань, а також вертикальне положення осі колони і горизонтальне положення решіток залежать від сталості товщини прокладки

по всій площі з'єднання і рівномірності затягування болтів кріплення фланцевих з'єднання.

Завершення ремонту колонки передбачає її випробування. Під час гідравлічного випробування колону заповнюють водою, а на вершині колони розміщують повітряник. Наявність води в повітрянику говорить про те, що колонка заповнена максимально. Після того, як повітряник закритий, тиск всередині колони поступово підвищується до стабільного рівня. Під цим тиском прилад витримують 5 хвилин, потім тиск знижують до потрібного рівня і починають огляд корпусу, під час якого зварні шви простукують молотком вагою 0,5-1,5 кг.

6 Охорона праці та техніка безпеки

6.1 Умови зберігання [3]

Для зберігання азотної кислоти використовують спеціальні резервуари, стійкі до її впливу з відповідним маркуванням. Вони повинні бути належним чином закриті і зберігатися далеко від прямих сонячних променів за температури нижче 20 °С. Поруч не повинно бути металів або легкозаймистих речовин. Саме приміщення повинно добре провітрюватись. Розведену кислоту зберігають і транспортують у тарі з хромистої сталі, концентровану — в алюмінієвій. Невеликі об'єми зберігають у скляних пляшках з притертими скляними або поліетиленовими пробками, оскільки HNO_3 сильно роз'їдає гуму.

6.2 Вплив на організм людини [3]

Вдихання, проковтування або контакт з азотною кислотою може бути небезпечним для здоров'я людини. Вдихання парів кислоти може викликати подразнення дихальної системи. Симптоми легкого отруєння — бронхіт, запаморочення, сонливість, сильне отруєння, яке в першу добу може призвести до набряку легенів. Вплив азотної кислоти на очі може призвести до серйозних пошкоджень - некрозу рогівки та кон'юнктиви, що в кінцевому підсумку призводить до втрати зору. Тривале або повторне вдихання парів азотної кислоти може призвести до ерозії зубів. Відомо, що присутність цих кислотних туманів шкідлива для людей і потенційно може викликати рак. Реакція на шкірі призводить до виразного пожовтіння покривів, що зумовлено наявністю ксантопротеїнів. Прямий контакт з концентрованою азотною кислотою може призвести до серйозних опіків, а потрапляння всередину може призвести до утворення перфорацій у стравоході та шлунку.

6.3 Правила роботи [3]

При роботі з концентрованою азотною кислотою обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту: протигаз (з коробкою марок

Б, М, БКФ з фільтром), захисні окуляри, кислотостійкий одяг і рукавички. Після закінчення роботи рекомендується ретельно вимити руки, вимити їх і нанести на шкіру захисний крем. Вони проводять досліди в лабораторіях у гумових рукавичках. Приміщення, де проводяться роботи з концентрованою азотною кислотою, повинні мати належні системи вентиляції як припливної, так і витяжної.

6.4 Вплив на довкілля [3]

Потрапляння HNO_3 в навколишнє середовище становить небезпеку не тільки для людини, але й для різноманітності живих організмів. У разі будь-яких розливів важливо негайно усунути їх за допомогою абсорбуючих матеріалів або за допомогою насоса. Перед випуском стічних вод на очисні споруди необхідна нейтралізація. Найефективніший спосіб уникнути нещасних випадків і травм – це неухильне дотримання правил безпеки. У процесі виробництва концентрованої азотної кислоти виділення газів оксиду азоту очищається за допомогою каталітичних технологій, щоб відповідати санітарним нормам.

6.5 Перша медична допомога [3]

При попаданні азотної кислоти в очі їх необхідно промити проточною водою протягом 10-30 хвилин, на шкіру - уражену поверхню промити водою, додавши в неї соду і мило. У разі прийому азотної кислоти всередину рекомендується промити шлунок значною кількістю води. Важливо своєчасно звернутися до кваліфікованого лікаря і дотримуватися його рекомендацій. Після виходу HNO_3 в навколишнє середовище необхідно щільно зачинити двері і вікна в будинку, вікна і двері бажано завісити ганчіркою, змоченою в розчині лимонної кислоти або слабкому розчині оцту.

6.6 Електробезпека

На підставі ПУЕ-87 і ГОСТ 12.1.013-78 робоче приміщення віднесено до категорії підвищеної небезпеки в залежності від ступеня небезпеки ураження

електричним струмом. Це пояснюється тим, що, з одного боку, це може стосуватися металевих каркасів будівель, технічних пристроїв, підключених до землі, а з іншого боку - металевих корпусів електрообладнання.

Заходи електробезпеки:

1) Основною метою є ефективне управління та запобігання будь-якому пошкодженню ізоляції.

Застосовуючи захисне заземлення, зонування та захисне відключення, можна ефективно усунути ризик пошкодження корпусу, корпусу та інших компонентів електрообладнання за наявності напруги.

3) Забезпечення безпечної експлуатації електроенергії.

4) Використання закритої техніки.

6.7 Пожежна безпека

Пожежна безпека забезпечується поєднанням протипожежних і запобіжних заходів, а також організаційних і технічних заходів.

Ефективність системи запобігання пожежам можна оцінити за допомогою різних показників, таких як кількість попереджених пожеж, час реагування пожежників і загальна безпека громади.

1) Для забезпечення безпеки рекомендується використовувати негорючі матеріали.

2) обмеження кількості легкозаймистих матеріалів та їх розташування.

3) Протипожежні розриви між будівлями, такі як стіни або огорожі, необхідні для запобігання поширенню вогню та захисту навколишніх конструкцій.

Регулярне прибирання приміщень і території необхідно для підтримки чистоти та гігієнічного середовища.

5) відокремлення легкозаймистих матеріалів.

Встановлено як внутрішні, так і зовнішні водопроводи з пожежними гідрантами, що дозволяє виявити пожежу за допомогою електричної пожежної сигналізації та полегшити зв'язок по телефону.

Для уникнення пожежі використовуйте основні способи гасіння - порошковий вогнегасник ОП-9 - 2 шт., вуглекислотний вогнегасник ВВК-5-2 шт., ящик з піском і лопатою.

ВИСНОВОК

У цій дипломній роботі були представлені теоретичні основи процесу, опис технічної схеми абсорбційної установки, опис конструкції пристрою і вибір конструкційних матеріалів.

Були проведено технічні та конструктивні розрахунки, визначено показники процесів теплообміну та масообміну, а також основні конструктивні розміри апарату: $H = 8,5$ м; $D = 500$ мм.

Проводиться підбір гідравлічних розрахунків і допоміжних пристроїв.

Проведений розрахунок пристрою на міцність, прийнята товщина стінки оболонки $s = 7$ мм, розраховано фланцеве з'єднання, проведений розрахунок і підбір опори.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.І.Дубинін. Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів: навчальний посібник – Львів : Львівська політехніка, 2013. – 292 с.
2. Врагов, А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв : навчальний посібник. - Суми : СумДУ, 2008. – 170 с.
3. Stern A. S., Mullhaupt J. T., Kay W. B. The Physicochemical Properties of Pure Nitric Acid // Chemical Reviews. 1960. Vol. 60. № 2. P. 185–207. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr60204a004>
4. Глосарій термінів з хімії / Уклад.: Й. Опейда, О. Швайка. Донецьк : Вебер, 2008. 736 с.
5. Неорганічна та органічна хімія: Основні поняття. Будова атома. Хімічний зв'язок / Уклад.: О. О. Шульженко, А. Є. Шпак. Київ : Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, 2018. 177 с.
6. Соловійов С. О., Кирієнко П. І., Попович Н. О. та ін. Розробка каталізаторів для знешкодження токсичних оксидів азоту в газових викидах виробництва азотної кислоти // Наука та інновації. 2019. Т. 15. № 1. С. 63–76.
7. <https://corelamps.com/elementy/sirkovoden/#i>