

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(Підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування,
(код та назва)

_____ програми _____
(освітньо-професійної/освітньо-наукової) (назва програми)

на тему: Виробництво гідрохінону. Розрахувати установку поглинання
аміаку з повітря водою продуктивністю по суміші
газів 12000 м³/годину.

Здобувача (ки) групи ХМ-91ш _____ Лисенко М.В.
(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.

_____ Микита ЛИСЕНКО
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник проекту _____ Роман ЗАКУСИЛО _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Спеціальність: 6.133: Галузеве машинобудування

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. Кафедрою

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВР

Студенту: Лисенко М.В.

група ХМ-91ш курс IV

1. **Тема роботи:** « Виробництво гідрохінону. Розрахувати установку поглинання аміаку з повітря водою продуктивністю по суміші газів 12000 м³/годину.»

2. **Вихідні дані:** Продуктивність 12000 м³/годину, температура - 20°C, тиск 1 МПа, зміст аміаку в повітрі – 8% мас., ступінь поглинання – 97 %, абсорбент - вода.

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)

3.1 Загальний вигляд 2хА1;

3.2 Технологічна схема А1;

3.3 Складальні креслення А1.

4. Література та матеріали, які рекомендуються: Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов / М.Ф. Михайлев, Н.П. Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин; Под общ. ред. М.Ф. Михайлева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1984. - 301 с., ил.

5. Контрольні терміни виконання: травень

Етап і розділи бакалаврської роботи проекту	Т И Ж Д Е Н Ь					
	1, 2	3, 4, 5,6	7, 8, 9	10, 11, 12, 13	14	15
1 Опис схеми, апарата	х х					
2 Технологічна частина		х х х х				
3 Розрахунки на міцність, герметичність та стійкість			х х х			
4 Розробка креслень				х х х х		
5 Оформлення записки					х	
6 Захист роботи						х

6. Дата видачі завдання Березень 2023 р

7. Термін захисту роботи Червень 2023р.

Керівник роботи _____

ІІІ Сум ДУ 2023

Анотація

Пояснювальна записка: 55 с, 1 рисунки, 2 табл., 13 література.

Графічні матеріали: складальне креслення апарата, технологічна схема, креслення складальних одиниць листів 4 формату А1.

Тема: Виробництво гідрохінону. Розрахувати установку поглинання аміаку з повітря водою продуктивністю по суміші газів 12000 м³/Годину.

Розроблена технологічна схема виробництва. Описані теоретичні основи процесу. Описаний принцип дії та конструкція абсорбційної колони. Вибраний та обґрунтований матеріал апарату.

Проведені технологічні розрахунки апарату це розрахунки матеріального та теплового балансів, конструктивні розрахунки, визначений опір апарату, вибране та розраховане допоміжне обладнання.

Зроблені конструктивні розрахунки товщин стінок апарату, розрахунки які підтверджують надійність апарату.

Описаний монтаж і ремонт апарату та охорона праці.

Ключові слова: АПАРАТ, КОРПУС, АБСОРБЦІЯ, КОЛОНА.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ	5
1 Технологічна частина	6
1.1 Опис технологічної установки.....	6
1.2 Теоретичні основи процесу абсорбції.....	7
1.3 Опис конструкції апарата	8
2 Технологічні розрахунки процесу та апарата	12
2.1 Матеріальний баланс та технологічні розрахунки	12
2.2 Конструктивні розрахунки.....	18
2.3 Гідрравлічний опір апарата.....	22
2.4 Вибір допоміжного обладнання	24
3 Розрахунки на міцність апарата	29
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки апарата.....	29
3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання	31
3.3 Розрахунок опори	40
4 Монтаж і ремонт апарата	43
4.1 Монтаж апарата	43
4.2 Ремонт апарата	44
5 Охорона праці та техніка безпеки на виробництві	48
5.1 Вимоги до виробництва	49
5.2 Фізико-хімічні властивості гідрокінона	49
5.3 Розрахунок товщини ізоляції апарата.....	51
Висновки	54
Список використаної літератури	55

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Лисенко			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Закусило			4	55	
Реценз.					ШІ Сум ДУ		
Н. Контр.							
Затверд.							

**Пояснювальна
записка**

Вступ

Гідрохінон (ГХ) і його похідні використовуються в фотографічній техніці, гумової промисловості, як інгібітори полімеризації, проміжні продукти при отриманні барвників і пігментів, антиоксидантів в харчовій промисловості, сільськогосподарських хімікатів, модифікаторів полімерів, лікарських препаратів 1,2-Дигідроксибензол катехол в хімічній промисловості і супутніх галузях використовується в якості вихідної сировини. У сільському господарстві похідні гідрохінону знаходять застосування у вигляді інсектицидів. Зважаючи на відсутність виробництва і гідрохінону в Україні попит на ці продукти повністю задовольняється за рахунок імпорту.

В даний час основними промисловими методами отримання гідрохінону є методи, засновані на окисленні діізопропілбензолу киснем повітря з утворенням гідроперекисів з їх подальшим розкладанням, окисленні фенолу водними розчинами пероксиду водню (ПВ) на різних катализаторах, окисленні аніліну діоксид. Аналіз літературних даних показав, що всі вищезазначені способи мають ряд істотних недоліків: багатостадійність, складність апаратурного оформлення, використання дорогих і токсичних допоміжних матеріалів, велика кількість відходів, що утворюються, відносно низькі показники процесу (конверсія вихідної сировини, вихід продуктів).

Найбільший інтерес у цій галузі представляють технології, що ґрунтуються на використанні екологічно чистих окислювачів: молекулярного кисню або пероксиду водню (ПВ). Крім того, на наш погляд, особливий інтерес як можливий катализатор процесів окислення представляє силікаліт титану. Про перспективність його використання свідчить, зокрема, розробка та промислова реалізація в останні роки низки нових великотоннажних процесів органічного синтезу (оксиду пропілену, катехолу та гідрохінону, циклогексаноноксиму). Дана робота направлена на модернізацію технології отримання гідрохінону.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної установки

Газ абсорбцію подається газодувкою в нижню частину колони, де рівномірно розподіляється перед надходженням на контактний елемент. Абсорбент із проміжної ємності насосом подається у верхню частину колони і рівномірно розподіляється за поперечним перерізом абсорбера за допомогою зрошувача. У колоні здійснюється протиточна взаємодія газу та рідини. Очищений газ, пройшовши бризковідбійник виходить із колони. Абсорбент стікає через гідрозатвор у проміжну ємність, звідки насосом направляється на регенерацію десорбер, після попереднього підігріву в теплообміннику-рекуператорі. Вичерпування поглиненого компонента з абсорбера проводиться в кубі, обігріваємо, як правило, насиченою водяною парою. Перед подачею на зрошення колони абсорбент, пройшовши теплообмінник-рекуператор, додатково охолоджується в холодильнику.

Барботажні абсорбери зазвичай є тарілчастими колонами. На тарілці підтримується шар рідини, через який барботує висхідний потік газу, розподіляючись у рідині бульбашками та цівками. Газ послідовно проходить через шари рідини на тарілках, які розташовані в колоні на певній відстані. Рідина безперервно перетікає з верхніх на розташовані нижче тарілки. У міжтарілковому просторі газ відокремлюється від віднесених крапель і бризок. Контакт між газом, що піднімається, і стікаючою рідиною здійснюється безперервно.

При протитоці газу та рідини залежно від швидкості потоків на тарілці встановлюються режими нерівномірної роботи, рівномірної роботи, газових струменів та бризок.

Режим нерівномірної роботи спостерігається за малих швидкостей газу у вільному перерізі колони $\omega < 0,5$ м/с. При аналізованому режимі двофазна система, що утворюється на тарілці, складається по висоті з трьох зон (рахуючи знизу вгору): зони власне барботажу (газ розподіляється у вигляді бульбашок або газових мішків - факелів), зони нерухомої піни і зони бризок. У ситчастих тарілках рідина провалюється через отвори і не встигає накопичуватися на тарілках.

Режим рівномірної роботи настає за подальшого збільшення швидкості газу (до 1 м/с). При цьому збільшується висота зони піни та зменшується висота зони власне барботажу. У певних умовах зона власне барботажу зникає повністю і виникає так званий пінний режим. Рівномірний режим роботи в

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сітчастих тарілках характеризується закінченням газу (пара) рідина через всі отвори.

Режим газових струменів та бризок спостерігається при підвищенні швидкості газу (пара) більше 1 м/с. У цьому випадку газ рухається через рідину у вигляді струменів (факелів), які виходять на поверхню піни, причому руйнується піна. В результаті над піною з'являється велика кількість бризок. При подальшому збільшенні швидкості газу (пара) спостерігається інжекційний режим: рідина захоплюється газом, що виходить з отворів, і значною мірою виноситься з ним у вигляді бризок.

1.2 Теоретичні основи процесу абсорбції [3]

Розчинність газів в рідинах залежить від властивостей газу і рідини, від температури парціального тиску розчиняється газу (компонента) в газовій суміші.

Залежність між розчинністю газу і його парціальним тиском характеризується законом Генрі, згідно з яким рівноважний парціальний тиск P^* пропорційно вмісту розчиненого газу в розчині X (в кг / кг поглинача)

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

де E – коефіцієнт пропорційності, що має розмірність тисків і залежних від властивостей розведеного газу і поглинача.

Розчинність багатьох газів значно відхиляється від Закону Генрі. Це відноситься головним чином до добре розчинних газів, що утворюють розчини високої концентрації. При низьких концентраціях розчину закон Генрі зазвичай добре дотримується.

Для практичних розрахунків користуються отриманим з досвіду значенням рівноважного парціального тиску газу p^* і обчислюють рівноважний вміст абсорбируемого компонента в газовій суміші Y^* за формулою

$$y^* = \frac{M_k}{M_H} \cdot \frac{p^*}{p - p^*} \quad \text{кг/кг інертний газ,} \quad (1.2)$$

де M_k , M_H - молекулярні маси абсорбуючого компонента та інертного газу;

p - загальний тиск газової суміші.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$y^* = \frac{M_k}{M_n} \cdot \frac{p^*}{p} = \frac{M_k}{M_n} \cdot \frac{E}{p} \cdot X = kX \quad (1.3)$$

$$\text{де } k = \frac{M_k}{M_n} \cdot \frac{E}{p}$$

В цьому випадку лінія рівноваги являє собою пряму, кута нахилу якої дорівнює k .

1.3 Опис конструкції апарата [5]

Абсорбційні колони, в залежності від їх внутрішнього устрою для розподілу стікає рідини і висхідних газів поділяються на ковпачкові, ситчаті і насадочні. Колона являє собою вертикальний циліндр, виготовлений зі сталі, чавуну або кераміки і складається з декількох царг, з'єднаних герметично за допомогою рознімних фланців.

У насадочних колонах, насадка складається з кілець Рашига (металевих, порцелянових, керамічних), пустотілих куль, дробленого коксу, кварцу та інших матеріалів. Вибір форми насадки і матеріалу її диктується в кожному окремому випадку фізико-хімічними властивостями газу і рідини, а також умовами проведення процесу абсорбції.

Для успішної роботи насадок колон слід прагнути у всіх випадках до можливо більш рівномірному розподілу стікає рідини по всьому перетину колони. Такому розподілу рідини сприяють однорідність форми і розмірів насадки, максимально можлива швидкість висхідного потоку газу, а також строго вертикальна установка самої колони. Досліди показали, що спочатку досягнута рівномірність розподілу рідини поступово порушується в міру стікання її, так як газ прагне відтіснити рідину до периферії і зайняти центральну зону шару насадки. Для боротьби з цим явищем в колонах з високим шаром насадки останній розбивають на кілька шарів меншої висоти, відокремлених один від одного вільним, незаповненим простором.

Кожен шар насадки розміщують на опорних решітках (колосниках) під насадку. Опорна решітка повинна мати мінімальний гідравлічний опір і мати достатню механічну міцність, щоб витримати вагу насадки і утримуваної нею рідини. Опорна решітка зазвичай збирається з колосників товщиною 4-10 мм і висотою 50 мм зі смужової вуглецевої або легованої сталі. Просвіт між

						Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	

колосниками решітки повинен бути не більше 0,6 – 0,7 від найменшого розміру насадочного елемента. Між колосниками встановлюють дистанційні втулки і весь пакет колосників стягують шпильками.

Крім того, над кожним шаром насадки встановлюють розподільні тарілки, що створюють більш рівномірне зрошення насадки і забезпечують рівномірний розподіл газу по перетину колони. Вона являє собою сталевий відбортований диск товщиною 1,5 – 3,0 мм з отворами, в яких закріплені переливні патрубки діаметром 35; 45 і 57 мм, мають вертикальні прорізи для розподілу переливається рідини по всьому перетину. Число патрубків визначають залежно від діаметра колони. У верхній частині колони встановлюється Зрошувальна тарілка призначена для рівномірного розподілу зрошувальної рідини по всьому перетину колони. Конструкція зрошувальної тарілки аналогічна розподільної тарілки, основною відмінністю є розташування в центрі тарілки зливного склянки, з'єданого з вступним штуцером рідини.

За конструкцією корпусів розрізняють в основному три типи колон:

- 1) корпус зібраний з окремих царг, що з'єднуються між собою фланцями на прокладці. Кришку і днище кріплять таким же способом. У такому корпусі не влаштовують люків-Лазів;
- 2) корпус суцільнозварний; кришку кріплять за допомогою фланцевого з'єднання. Для огляду в корпусі передбачають оглядові люки;
- 3) корпус суцільнозварний, до нього приварюють кришку і днище. Для монтажу і демонтажу внутрішньої оснастки його обов'язково постачають люками-лазами.

Далі здійснимо вибір матеріалу для конструкції апарату.

Аміак в присутності вологи роз'їдає мідь, бронзу, цинк і різні мідні сплави, до сталі інертний. Деяку корозію стали викликає наявність води в суміші, що обумовлює наявність обмежень на вибір конкретної марки сталі в залежності від вимог на готову продукцію. Вибір алюмінію і титану в якості матеріалу для апарату не розглядається, так як ці матеріали відносяться до дорогих і вони застосовуються в обґрунтованих випадках.

Відповідно до рекомендацій [11, с. 277] в якості матеріалу для апарату пропонується наступний сортамент: сталі 0x13, 1x13, X17, 0x17т, 1x17н2, X25Т, X28, X18Н10Т, X17Н13М2Т. всі зазначені марки сталей відносяться до конструкційних високолегованих, жаростійким і жароміцних сталей ГОСТ 5632 – 80. Сталі без вмісту нікелю (Н) знаходять застосування в деталях не пов'язаних зі зварюванням [11, с. 22], тому вибір матеріалу здійснюємо з переліку сплавів містять нікель, так як апарат має зварену конструкцію. Введення нікелю (Н) до складу сплаву, що містить хром (Х), підвищує опір

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

крихкому руйнуванню, підвищує пластичність і в'язкість, зменшує чутливість до концентраторів напруг і знижує температуру порога хладноломкості, підвищує якість зварювання. Введення дорогого молібдену (М) до складу сплаву забезпечує підвищення його жароміцності, що не потрібно для проведення заданого технологічного процесу. Наявність титану (Т) в структурі сплаву подрібнює зерно, що забезпечує рівномірність розподілу фізико-механічних властивостей за матеріалом.

Отже, приймається корозійностійка сталь аустенітного класу Х18Н10Т ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується хорошою корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати в температурному інтервалі -256 °С до + 525 °С 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 і механічні властивості представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1-хімічний склад і механічні властивості сталі Х18Н10Т

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

До недоліків цієї сталі слід віднести те, через велику в'язкості вона гірше піддається механічній обробці. Однак, з огляду на, що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику зварюваних елементів конструкції, то цей фактор не має істотного впливу в цілому на вартість виготовлення апарату.

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

Таблиця 2.2-хімічний склад і механічні властивості сталі 20

С, %	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

При абсорбції процес масопередачі протікає на поверхні зіткнення фаз. Тому в апаратах для поглинання газів рідинами (абсорберах) повинна бути створена розвинена поверхня зіткнення між газом і рідиною.

Насадковий абсорбер являє собою колону, завантажену насадкою - кільцями Рашига. Кільця безладно засипані в апарат навалом. Основними характеристиками насадок є питома поверхня і вільний обсяг.

Рідина стікає по поверхні насадки тонкою плівкою і одночасно розподіляється в шарі насадки у вигляді крапельок і бризок. При подачі рідини на безладно завантажену насадку не досягається рівномірний розподіл рідини по перетину насадки на всій висоті її шару, тому що точність засипки насадки біля стінок завжди менше, ніж по осі апарату.

Газ надходить в колону знизу і рухається вгору протитечею по відношенню до рідини.

Насадочні колони - найбільш поширений тип абсорбера. Перевагою їх є простота пристрою, особливо важлива при роботі з агресивними середовищами, тому що в цьому випадку потрібен захист від корозії тільки корпусу колони і підтримують насадку решіток, насадка не може бути викладена з хімічно стійкого матеріалу (кераміка, фарфор). Інша перевага насадок абсорберів-більш низька, ніж в барботажних абсорберах, гідравлічний опір.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технологічні розрахунки процесу та апарата

2.1 Матеріальний баланс та технологічні розрахунки

Абсорбер призначений для уловлювання не поглиненого аміаку з метою очищення повітря перед викидом в атмосферу.

Матеріальний баланс абсорбера характеризується рівнянням:

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

у якому 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

$$V_{cm} = V_0 \frac{(t + 273) \cdot P_0}{273 \cdot P}, \quad (2.2)$$

$$V_{cm} = \frac{12000}{3600} \cdot \frac{(20 + 273) \cdot 0,1}{273 \cdot 0,2} = 1,76 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Щільність аміаку в нормальних умовах $\rho_A = 0,77 \text{ кг/м}^3$, щільність повітря $\rho_B = 1,29 \text{ кг/м}^3$, тоді щільність газової суміші за нормальних умов:

$$\rho_{cm} = y_A \cdot \rho_A + (1 - y_A) \cdot \rho_B, \quad (2.3)$$

$$\rho_{cm} = 0,08 \cdot 0,77 + (1 - 0,08) \cdot 1,29 = 1,25 \text{ кг/м}^3.$$

Щільність газової суміші у робочих умовах:

$$\rho_r = \rho_{cm} \cdot \frac{273 \cdot P}{(t + 273) \cdot P_0}, \quad (2.4)$$

$$\rho_r = 1,25 \cdot \frac{273 \cdot 0,22}{(20 + 273) \cdot 0,1} = 2,56 \text{ кг/м}^3.$$

Масовий та об'ємний витрати поглинається газу на вході в абсорбер:

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_r = V_{cm} \cdot C_y, \quad (2.5)$$

$$V_r = \frac{G_r}{\rho_r} \quad (2.6)$$

де $C_y=123 \text{ г/м}^3$ – вміст поглинається газу у вихідній газовій суміші за робочих умов:

Парціальний тиск NH_3 [1,16-9]

$$p = y_0 \cdot P \quad (2.7)$$

$$p = 0,08 \cdot 0,22 = 0,176 \text{ МПа}$$

Об'ємна концентрація NH_3 [1,16-10]

$$C_y = \frac{M_0 \cdot p}{R(273 + t)} \quad (2.8)$$

де $M = 17 \text{ кг/кмоль}$ – молекулярна маса аміаку;

$R = 8314 \text{ Дж/кмоль} \cdot \text{К}$ – газова постійна;

$$C_y = \frac{17 \cdot 0,176 \cdot 10^{-6}}{8314 \cdot (273 + 20)} = 0,123 \text{ кг/м}^3$$

$$G_r = 1,76 \cdot \frac{123}{1000} = 0,22 \text{ кг/с,}$$

$$V_r = \frac{0,22}{2,14} = 0,086 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Абсолютна мольна (об'ємна) частка поглинається компонента у вихідній газовій суміші:

$$y_H = \frac{V_r}{V_{cm}}, \quad (2.9)$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$y_H = \frac{0,086}{1,76} = 0,049 \frac{\text{кмоль NH}_3}{\text{кмоль смеси}}$$

Масові витрати вихідної газової суміші та інертного носія:

$$G_{\text{см}} = V_{\text{см}} \cdot \rho_{\text{г}}, \quad (2.10)$$

$$G_{\text{ин}} = G_{\text{см}} - G_{\text{г}}, \quad (2.11)$$

$$G_{\text{см}} = 1,76 \cdot 2,56 = 4,51 \text{ кг/с},$$

$$G_{\text{ин}} = 4,51 - 0,22 = 4,29 \text{ кг/с}.$$

Відносна мольна та масова частка поглинається компонента у вихідній газовій суміші:

$$Y_H = \frac{y_H}{1 - y_H}, \quad (2.12)$$

$$Y_H = \frac{0,049}{1 - 0,049} = 0,0515 \frac{\text{кмоль NH}_3}{\text{кмоль смеси}}$$

$$\bar{Y}_H = \frac{G_{\text{г}}}{G_{\text{ин}}}, \quad (2.13)$$

$$\bar{Y}_H = \frac{0,22}{4,29} = 0,0513 \frac{\text{кг NH}_3}{\text{кг смеси}}$$

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

$$M = \frac{G_{\text{г}} \cdot C_{\text{г}}}{100}, \quad (2.14)$$

$$M = \frac{0,22 \cdot 97}{100} = 0,213 \text{ кг/с},$$

					<i>6.133.23.04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_r' = G_r - M, \quad (2.15)$$

$$G_r' = 0,22 - 0,213 = 0,007 \text{ кг/с.}$$

Тиск газової суміші:

$$P = 0,22 \text{ МПа} = 1672 \text{ мм.рт.ст.}$$

Коефіцієнт Генрі для аміаку:

$$E = 0,025 \cdot 10^6 \text{ мм.рт.ст.}$$

Відносна мольна частка поглинається компонента в рідині:

$$X_H^* = Y_H \cdot \frac{P}{E}, \quad (2.16)$$

$$X_H^* = 0,0515 \cdot \frac{1672}{0,025 \cdot 10^6} = 0,0035 \frac{\text{кмоль NH}_3}{\text{кмоль суміси}}$$

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

$$\overline{X}_H^* = X_H^* \cdot \frac{M_r}{M_B} \quad (2.17)$$

де M_B – мольна маса води, кг/моль;

$$\overline{X}_H^* = 0,0035 \cdot \frac{17}{18} = 0,0033 \frac{\text{кг NH}_3}{\text{кг суміси}}$$

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:

$$M = G_{ин} \cdot (\overline{Y}_H - \overline{Y}_B), \quad (2.18)$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$\bar{Y}_B = \frac{G'_r}{G_{ин}}, \quad (2.19)$$

$$\bar{Y}_B = \frac{0,007}{4,29} = 0,0016 \frac{\text{кг NH}_3}{\text{кг смеси}},$$

$$M = 4,29 \cdot (0,0513 - 0,0016) = 0,213 \text{ кг/с.}$$

Витрата абсорбенту:

$$L = \frac{M}{\bar{X}_H - \bar{X}_B}; \quad (2.20)$$

де відносна масова частка поглинається компонента в рідині внизу КОЛОНИ:

$$\bar{X}_H = 0,94 \cdot \bar{X}^* = 0,94 \cdot 0,0033 = 0,0031 \frac{\text{кг NH}_3}{\text{кг смеси}},$$

$$L = \frac{0,213}{0,0031 - 0} = 68,7 \text{ кг/с.}$$

Рухаюча сила процесу абсорбції:

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = \frac{\Delta \bar{Y}_H - \Delta \bar{Y}_B}{\ln \frac{\Delta \bar{Y}_H}{\Delta \bar{Y}_B}}, \quad (2.21)$$

$$\Delta \bar{Y}_H = Y_H - Y_H^* \quad (2.22)$$

$$\Delta \bar{Y}_H = 0,0513 - 0,0288 = 0,0225 \frac{\text{кг NH}_3}{\text{кг смеси}};$$

$$\Delta \bar{Y}_B = \bar{Y}_B - \bar{Y}_B^* \quad (2.23)$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta \bar{Y}_B = 0,0016 - 0 = 0,0016 \frac{\text{кг NH}_3}{\text{кг смеси}};$$

де

$$X_H = \bar{X}_H \cdot \frac{M_B}{M_r} \quad (2.24)$$

$$X_H = 0,0031 \cdot \frac{18}{17} = 0,0033 \frac{\text{кмоль NH}_3}{\text{кмоль смеси}}$$

$$Y_H^* = X_H \cdot \frac{E}{P} \quad (2.25)$$

$$Y_H^* = 0,0033 \cdot \frac{0,025 \cdot 10^6}{1672} = 0,0491 \frac{\text{кмоль NH}_3}{\text{кмоль смеси}}$$

$$\bar{Y}_H^* = Y_H^* \cdot \frac{M_r}{M_B} \quad (2.26)$$

$$\bar{Y}_H^* = 0,0491 \cdot \frac{17}{29} = 0,0288 \frac{\text{кг NH}_3}{\text{кг смеси}}$$

Тоді

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = \frac{0,0225 - 0,0016}{\ln \frac{0,0255}{0,0016}} = 0,0075 \frac{\text{кг NH}_3}{\text{кг смеси}}$$

Число одиниць перенесення:

$$n_{oy} = \frac{\bar{Y}_H - \bar{Y}_B}{\Delta \bar{Y}_{cp}} \quad (2.27)$$

$$n_{oy} = \frac{0,0513 - 0,0016}{0,0075} = 66$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

З таблиці XIII [2] коефіцієнт дифузії аміаку повітря при нормальних умовах:

$$D_o = 17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с},$$

за робочих умов:

$$D_r = D_o \cdot \frac{P_o}{p} \cdot \left(\frac{T}{T_o} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2.28)$$

$$D_r = 17 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{0,1}{0,122} \cdot \left(\frac{273 + 20}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 8,59 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

З табл. XLIII [2] коефіцієнт дифузії аміаку у воді при температурі 20 °С:

$$D_{20} = 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

2.2 Конструктивні розрахунки

Гранична швидкість газової суміші в апараті

$$\lg \left(\frac{\omega_{\text{пр}}^2 \cdot a_n \cdot \rho_{\text{см}} \cdot \mu_{\text{ж}}^{0,16}}{g \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_{\text{ж}}} \right) = A - B \cdot \left(\frac{L}{G_{\text{ин}}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0,125} \quad (2.29)$$

Тут для кілець Рашига 35×35×3 [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, $d_s = 0,022 \text{ м}$;
- Насипна щільність, $\rho = 530 \text{ кг}/\text{м}^3$;

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

$$\lg \left(\frac{\omega_{\text{пр}}^2 \cdot 140 \cdot 2,56 \cdot (1 \cdot 10^{-3})^{0,16}}{9,81 \cdot 0,78^3 \cdot 1000} \right) = -0,073 - 1,75 \cdot \left(\frac{68,7}{4,29} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{2,56}{1000} \right)^{0,125},$$

звідки гранична швидкість газу в колоні

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$\omega_{\text{пр}} = 3,14 \text{ м/с.}$$

Робоча швидкість газу

$$\omega = (0,75 \dots 0,9) \cdot \omega_{\text{іо}} = 0,8 \cdot 3,14 = 2,51 \text{ м/с.}$$

Діаметр абсорбційної колони

$$D' = \sqrt{\frac{V_{\text{см}}}{0,785 \cdot \omega'}} \quad (2.30)$$

$$D' = \sqrt{\frac{1,76}{0,785 \cdot 2,51}} = 0,945 \text{ м.}$$

Приймаємо $D = 1000$ мм, тоді швидкість газу колони

$$\omega = \frac{V_{\text{см}}}{0,785 \cdot D^2} \quad (2.31)$$

$$\omega = \frac{1,76}{0,785 \cdot 1,0^2} = 2,24 \text{ м/с.}$$

Критерій Re для газової фази

$$Re_{\text{г}} = \frac{4 \cdot \omega \cdot \rho_{\text{г}}}{a_{\text{н}} \cdot \mu} \quad (2.32)$$

$$Re_{\text{г}} = \frac{4 \cdot 2,24 \cdot 2,56}{140 \cdot 0,0104 \cdot 10^{-3}} = 15734.$$

Дифузійний критерій для Pr газу

$$Pr_{\text{г}} = \frac{\mu_{\text{см}}}{\rho_{\text{г}} \cdot D_{\text{г}}} \quad (2.33)$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Pr_r = \frac{0,0104 \cdot 10^{-3}}{2,56 \cdot 8,59 \cdot 10^{-6}} = 0,473.$$

Критерій Nu для газу

$$Nu_r = 0,407 \cdot Re_r^{0,655} \cdot Pr_r^{0,33} \quad (2.34)$$

$$Nu_r = 0,407 \cdot 15734^{0,655} \cdot 0,473^{0,33} = 178,3.$$

Коефіцієнт масовіддачі для газу

$$\beta_r = \frac{Nu_r \cdot D_r}{d_s} \quad (2.35)$$

$$\beta_r = \frac{178,3 \cdot 8,59 \cdot 10^{-6}}{0,022} = 69,62 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

Аналогічно визначимо значення критеріїв для рідини.

$$\delta_{пр} = \left(\frac{\mu_{ж}^2}{\rho_{ж}^2 \cdot g} \right)^{1/3} \quad (2.36)$$

$$\delta_{пр} = \left[\frac{(1 \cdot 10^{-3})^2}{1000^2 \cdot 9,81} \right]^{1/3} = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$S = 0,785 \cdot D^2 \quad (2.37)$$

$$S = 0,785 \cdot 1,0^2 = 0,785 \text{ м}^2;$$

$$Re_{ж} = \frac{4 \cdot L}{S \cdot a_H \cdot \psi \cdot \mu_{ж}} \quad (2.38)$$

$$Re_{ж} = \frac{4 \cdot 68,7}{0,785 \cdot 140 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 10^{-3}} = 5001;$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Pr_r = \frac{\mu_{ж}}{\rho_{ж} \cdot D_{ж}} \quad (2.39)$$

$$Pr_r = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 1,8 \cdot 10^{-9}} = 555,6;$$

$$Nu_{ж} = 0,0021 \cdot Re_{ж}^{0,75} \cdot Pr_{ж}^{0,5} \quad (2.40)$$

$$Nu_{ж} = 0,0021 \cdot 5001^{0,75} \cdot 0,556^{0,5} = 0,93;$$

$$\beta_{ж} = \frac{Nu_{ж} \cdot D_{ж}}{\delta_{пр}} \quad (2.41)$$

$$\beta_{ж} = \frac{0,93 \cdot 1,8 \cdot 10^{-9}}{0,49 \cdot 10^{-3}} = 3,42 \cdot 10^{-6} \text{ м/с.}$$

Коефіцієнт масовіддачі

$$\beta_y = \beta_r \cdot \rho_r \quad (2.42)$$

$$\beta_y = 69,62 \cdot 10^{-3} \cdot 2,56 = 178,2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\beta_x = \beta_{ж} \cdot \rho_{ж} \quad (2.43)$$

$$\beta_x = 3,42 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 3,42 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

Коефіцієнт масопередачі в апараті по відношенню до газової фази

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{m}{\beta_x}} \quad (2.44)$$

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{178,2} + \frac{1,495}{3,42 \cdot 10^{-3}}} = 85,73 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середній коефіцієнт розподілу

$$m = \frac{E}{p} \quad (2.45)$$

$$m = \frac{0,025 \cdot 10^6}{1672} = 1,495.$$

Поверхня насадки

$$F = \frac{M}{K_y \cdot \Delta Y_{cp}} \quad (2.46)$$

$$F = \frac{0,213}{85,73 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0075} = 329,7 \text{ м}^2.$$

Висота шару насадки

$$H_H = \frac{F}{0,785 \cdot D^2 \cdot a_H} \quad (2.47)$$

$$H_H = \frac{329,7}{0,785 \cdot 1,0^2 \cdot 140} = 3,0 \text{ м}.$$

2.3 Гідравлічний опір апарата

Величину Δp находим по формулі [4]

$$\Delta p = \Delta p_c \cdot 10^{b \cdot U}, \quad (2.48)$$

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

Для кілець Рашига [4, с.108]

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$b = 184.$$

Гідравлічний опір сухої насадки

$$\Delta p_c = \lambda \cdot \frac{H}{d_s} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_r}{2}, \quad (2.49)$$

де λ – коефіцієнт опору насадки.

$$\lambda = \frac{16}{Re^{0,2}}, \quad (2.50)$$

$$\lambda = \frac{16}{15734^{0,2}} = 0,828.$$

Тоді

$$\Delta p_c = 0,828 \cdot \frac{3}{0,022} \cdot \frac{2,24^2 \cdot 2,56}{2} = 725 \text{ Па.}$$

Щільність зрошення

$$U = \frac{L}{\rho_{ж} \cdot S}, \quad (2.51)$$

$$U = \frac{68,7}{1000 \cdot 0,785} = 0,00875 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с.}$$

Гідравлічний опір зрошуваної насадки

$$\Delta p = 725 \cdot 10^{184 \cdot 0,00875} = 29535 \text{ Па.}$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Вибір допоміжного обладнання

Виконаємо розрахунок вентилятора для перекачування газової суміші через абсорбер. Прийmemo, що довжина трубопроводу до абсорбера становить 20 м. На трубопроводі є два коліна та одна засувка. Гідравлічний опір абсорбера $\Delta p_a = 29535$ Па.

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

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

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,76}{3,14 \cdot 15}} = 0,386 \text{ м} = 386 \text{ мм.}$$

Критерій Рейнольдса для потоку у трубопроводі

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

$$Re = \frac{15 \cdot 0,386 \cdot 2,56}{0,0104 \cdot 10^{-3}} = 1425231.$$

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

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{0,386} = 0,389 \cdot 10^{-3};$$

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{0,389 \cdot 10^{-3}} = 2573;$$

$$10 \cdot \frac{1}{e} = 25730;$$

$$560 \cdot \frac{1}{e} = 1440880;$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$25730 < Re = 1425231 < 1440880.$$

Таким чином, розрахунок λ слід проводити для зони змішаного тертя за формулою [4]

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

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(0,389 \cdot 10^{-3} + \frac{68}{1425231} \right)^{0,25} = 0,0159.$$

Визначимо коефіцієнти місцевих опорів [4]:

- Вхід у трубу (приймаємо трубу з гострими краями), $\xi_1 = 0,5$;
- засувка для $d = 0,386$ м, $\xi_2 = 0,25$;
- коліно, $\xi_3 = 1,1$;
- вихід із труби, $\xi_4 = 1,0$.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів

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

Гідравлічний опір трубопроводу

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

$$\Delta p_T = \left(0,0159 \cdot \frac{20}{0,386} + 3,95 \right) \cdot \frac{2,56 \cdot 15^2}{2} = 1375 \text{ Па.}$$

Надлишковий тиск, який повинен забезпечити вентилятор для подолання гідравлічного опору апарату та трубопроводу

$$\Delta p = \Delta p_a + \Delta p_T = 29535 + 1375 = 30910 \text{ Па.}$$

Таким чином, потрібний вентилятор високого тиску. Корисну потужність його знаходимо за формулою 1.32 [4]

									Арк.
									25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

$$N_{\Pi} = \rho \cdot g \cdot V \cdot H = V \cdot \Delta p \quad (2.56)$$

$$N_{\Pi} = 1,76 \cdot 30910 = 44401 \text{ Вт} = 44,4 \text{ кВт.}$$

Прийняв $\eta_{\text{пер}} = 1,0$ і $\eta_{\text{н}} = 0,8$ отримаємо

$$N = \frac{44,1}{1,0 \cdot 0,8} = 54,1 \text{ кВт.}$$

За таблицями 1.8 та 1.9 [4] встановлюємо, що отриманим даним задовольняє газодувка ТВ-150-1,12, яка має такі характеристики: $V = 2,5 \text{ м}^3/\text{с}$; $\Delta p = 35000 \text{ Па}$. Газодувка забезпечена електродвигуном А02-82-2 потужністю $N = 55 \text{ кВт}$ і $\eta_{\text{дв}} = 0,88$.

Далі виконаємо розрахунок холодильника зрошувачої рідини. Температура води на вході до абсорбера $t_{1\text{н}} = 20^\circ\text{С}$, Прийmemo температуру на вході в холодильник $t_{1\text{к}} = 40^\circ\text{С}$. Охолодження здійснюється артезіанською водою з температурою $t_{2\text{н}} = 10^\circ\text{С}$, кінцеву температуру прийmemo рівною $t_{2\text{к}} = 25^\circ\text{С}$.

З основного рівняння теплопередачі маємо

$$F_{\Pi} = \frac{Q_{\Pi}}{K_{\Pi} \cdot \Delta t_{\text{ср}}}; \quad (2.56)$$

$$Q_{\Pi} = G_{\text{н}} \cdot c_{\text{н}} \cdot (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}}), \quad (2.57)$$

де Q_{Π} – теплове навантаження холодильника, Вт; K_{Π} – коефіцієнт теплопередачі, $K = 500 \dots 1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\Delta t_{\text{ср}}$ – середня різниця температур між теплоносіями, К; $G_{\text{н}}$, $c_{\text{н}}$ – кількість охолоджувачої рідини, кг/с, та її теплоємність, Дж/(кг·К); $t_{2\text{н}}$, $t_{2\text{к}}$ – початкова та кінцева температура зрошувачої рідини, °С.

$$Q_{\text{і}} = 68,7 \cdot 4,19 \cdot (40 - 20) = 5757 \text{ кВт};$$

$$t_{1\text{н}} = 40^\circ\text{С} \rightarrow t_{1\text{к}} = 20^\circ\text{С}$$

$$t_{2\text{н}} = 25^\circ\text{С} \rightarrow t_{2\text{к}} = 10^\circ\text{С}$$

$$\overline{\Delta t_{\text{г}}} = 15 \quad \overline{\Delta t_{\text{м}}} = 10$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Середня різниця температур

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (2.58)$$

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{15 - 10}{\ln \frac{15}{10}} = 12,3 \text{ К.}$$

Тоді поверхня теплообміну

$$F_{\text{і}} = \frac{5757 \cdot 10^3}{900 \cdot 12,3} = 520 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні теплопередачі теплообмінника приймається на 10÷20% більше розрахункової величини, отже

$$F = (1,1 \div 1,2) \cdot F_{\text{і}} = 1,1 \cdot 520 = 572 \text{ м}^2.$$

На підставі знайденої поверхні за ГОСТ 15122-79 вибираємо кожухотрубчастий двоходовий теплообмінник з такими параметрами: площа поверхні теплопередачі $F = 595 \text{ м}^2$; число труб $n = 1580$; довжина труб $L = 6,0 \text{ м}$; діаметр труб $d = 20 \times 2 \text{ мм}$; діаметр кожуха $D = 1200 \text{ мм}$.

Потім здійснимо вибір приймальної ємності після абсорбера для зрошуючої рідини. Прийmemo, що об'єм ємності повинен забезпечувати годину безперервної роботи абсорбера, тоді об'єм рідини, що заливається.

$$V_{\text{ж}} = \frac{1 \cdot 3600 \cdot G}{\rho} \quad (2.59)$$

$$V_{\text{ж}} = \frac{1 \cdot 3600 \cdot 68,7}{1000} = 247 \text{ м}^3.$$

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

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_p = \frac{V_{ж}}{\varphi} = \frac{247}{0,9} = 275 \text{ м}^3.$$

За таблицею 10.8 [7] приймаємо стандартний посуд має такі параметри: номінальний обсяг $V = 300 \text{ м}^3$, внутрішній діаметр $D = 4000 \text{ мм}$, довжина корпусу $L = 20000 \text{ мм}$.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3 Розрахунки на міцність апарата

3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу та кришки апарата

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі 12Х18Н10Т при $t = 40^\circ\text{C}$

$$\sigma = 150 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma = 1 \cdot 150 = 150 \text{ МПа}$$

Так як апарат працює при атмосферному тиску, для розрахунку товщини стінки здійснюємо порівняльну оцінку тиску гідравлічних випробувань.

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma_{\text{п}}]}{[\sigma]} \quad (3.1)$$

де $[\sigma]$ – допустима напруга гідравлічних випробувань; p - тиск в апараті.

$$[\sigma_{\text{п}}] = \frac{\sigma_{\text{т}}}{1,1} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа.}$$

Тоді

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{218}{150} = 0,18 \text{ МПа.}$$

Тиск в апараті від гідростатичного напорю

$$p_{\text{г}} = H \cdot \rho \cdot g \quad (3.2)$$

де H – висота колони з урахуванням сепараційного простору, м;

$$p_{\text{г}} = 14 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 137,3 \cdot 10^3 \text{ Па} = 0,14 \text{ МПа.}$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунковий тиск в апараті

$$p = p_{\Pi} + p_{\Gamma} = 0,18 + 0,14 = 0,32 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_{\Pi}] - p} \quad (3.3)$$

де D – діаметр апарата, м.

$$s_p = \frac{0,32 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,32} = 0,8 \text{ мм}$$

Приймаємо збільшення до розрахункової товщини за весь термін служби апарату (10 років)

$$c = 0,03 \cdot 10 = 0,3 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки

$$s = s_p + c \quad (3.4)$$

$$s = 0,8 + 0,3 = 1,1 \text{ мм.}$$

З урахуванням напруг стиснення від маси колони приймаємо товщину стінки, мінімальну для $D = 1000$ мм

$$s = 6 \text{ мм.}$$

Розрахункова товщина стінки кришки під час проведення гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_{\Pi} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_{\Pi}] - 0,5p_{\Pi}} \quad (3.5)$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s_p = \frac{0,32 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 218 - 0,5 \cdot 0,32} = 0,8 \text{ мм}$$

Виконавча товщина

$$s = 0,8 + 0,3 = 1,1 \text{ мм.}$$

Приймаємо $s = 6 \text{ мм}$.

3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки та корпусу апарату при $D_{\text{вн}} = 1000 \text{ мм}$ і $p = 0,32 \text{ МПа}$ обирається по ОСТ 26-426-79 з плоскими приварними фланцями та поверхнею ущільнювача типу «шип – паз».

Товщина втулки фланця [6]

$$s_0 \leq 1,35 \cdot s,$$

де $s = 8 \text{ мм}$ – товщина обичайки апарата.

$$s_0 = 1,35 \cdot 6 = 7,5 \text{ мм,}$$

приймаємо $s_0 = 8 \text{ мм}$.

Перевіряємо виконання умови

$$s_0 - s \leq 5$$

$$8 - 6 = 2 \leq 5 \text{ – умова виконується.}$$

Визначимо діаметр болтового кола. З [8] с.263

$$D_6 = D_{\text{вн}} + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_6 + u), \quad (3.6)$$

де $d_6 = 20 \text{ мм}$ – діаметр болтів при $D_{\text{вн}} = 1000 \text{ мм}$ і $p = 0,32 \text{ МПа}$ (табл. 1.40 [8]); $u = 6 \text{ мм}$ – нормативний зазор між гайкою та втулкою ($u = 4 \div 6$, табл.9 [8]).

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_6 = 1,0 + 2 \cdot (2 \cdot 0,008 + 0,020 + 0,006) = 1,084 \text{ м,}$$

приймаємо $D_6 = 1,1$ м. (см. с.263 [9]).

По [8] с.264 зовнішній діаметр фланця

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

де $a = 40$ мм (табл.13.27 [9])

$$D_\phi = 1,1 + 0,04 = 1,14 \text{ м,}$$

приймаємо $D_\phi = 1,15$ м (с.264 [8]).

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [8]

$$D_\pi \geq D_6 - e,$$

де $e = 30$ мм (табл.13,27 [8]);

$$D_\pi = 1,1 - 0,03 = 1,07 \text{ м.}$$

приймаємо $D_\pi = 1,07$ м

Середній діаметр прокладки [8]

$$D_{\text{ср.}\pi} \geq D_\pi - b_\pi,$$

де $b_\pi = 20$ мм – ширина прокладки (табл.1.42 [8]);

$$D_{\text{ср.}\pi} = 1,07 - 0,02 = 1,05 \text{ м.}$$

Еквівалентна ширина прокладки

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{b_\pi} \quad (\text{при } b_\pi > 15 \text{ мм});$$

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{20} = 2,68 \text{ мм.}$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосовуємо матеріал прокладки – Пароніт за ГОСТ 481-80 завтовшки 2 мм.

Кількість болтів, необхідне забезпечення герметичності з'єднання, визначається за формулою [6]

$$Z_6 = \frac{\pi \cdot D_6}{t_6}, \quad (3.7)$$

де t_6 – крок болтів, $t_6 = (4,2 \div 5) \cdot d_6 = 4,5 \cdot 20 = 90$ мм (табл.13.20 [2])

$$Z_6 = \frac{3,14 \cdot 1,1}{0,09} = 38.$$

Приймаємо найближче більше кратне чотири значення $Z_6 = 40$ мм.

Висота фланця визначається за формулою

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_{\text{вп}} \cdot s_e}, \quad (3.8)$$

де $\lambda = 0,38$ – коефіцієнт (рис.13.14 [8]); s_e – еквівалентна товщина втулки фланця

$$s_e = \alpha \cdot s_0,$$

де $\alpha = 1,0$ – для плоского приварного фланця

$$s_e = 1,0 \cdot 8 = 8 \text{ мм};$$

$$h = 0,38 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 0,008} = 0,034 \text{ м},$$

приймаємо $h = 40$ мм.

Розрахункова довжина болта між опорними поверхнями головки болта та гайки

$$l_6 = l_{60} + 0,28 \cdot d_6;$$

$$l_{60} = 2 \cdot (h_{\text{сп}} + s_{\text{п}});$$

$$l_{60} = 2 \cdot (40 + 2) = 84 \text{ мм};$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l_6 = 84 + 0,28 \cdot 20 = 89,6 \text{ мм};$$

з урахуванням товщини трубної решітки приймаємо $l_6 = 140 \text{ мм}$.

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання

$$Q_d = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}}^2}{4}, \quad (3.9)$$

де $p_R = 0,32 \text{ МПа}$ – внутрішній тиск в апараті; $D_{\text{ср.п}} = 1,05 \text{ м}$ – середній діаметр прокладки

$$Q_d = \frac{0,27 \cdot 3,14 \cdot 0,9^2}{4} = 0,17 \text{ МН}.$$

Реакція прокладки при робочих умовах [6]

$$R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R, \quad (3.10)$$

де $m = 2,5$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки (табл.13.28 [8]);

$$R_{\text{п}} = 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,00268 \cdot 2,5 \cdot 0,32 = 0,007 \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_6 \cdot f_6 \cdot E_6 \cdot (\alpha_{\text{ср}} \cdot t_{\text{ср}} - \alpha_6 \cdot t_6), \quad (3.11)$$

де $\alpha_{\text{ср}} = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця;
 $\alpha_6 = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болтів;
 $t_6 = 0,96 \cdot t_p = 0,96 \cdot 40 = 39^\circ\text{C}$ – розрахункова температура неізолюваних болтів;
 γ – безрозмірний коефіцієнт; Z_6 – кількість болтів; $f_6 = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – розрахункова площа поперечного перерізу болта за зовнішнім діаметром; $E_6 = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль поздовжньої пружності сталі 20к при $t_6 = 39^\circ\text{C}$.

$$\gamma = A \cdot Y_6, \quad (3.12)$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де Y_6 – лінійна податливість болта.

$$Y_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot Z_6} \quad (3.13)$$

$$Y_6 = \frac{0,14}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 40} = 7,8 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$$A = [Y_{\Pi} + Y_6 + 0,25 \cdot (Y_{\phi 1} + Y_{\phi 2}) \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}})]^{-1}, \quad (3.14)$$

де Y_{Π} – лінійна податливість прокладки; $Y_{\text{ср}} = Y_{\phi 1} = Y_{\phi 2}$ – кутова податливість фланця;

$$Y_{\Pi} = \frac{s_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\Pi} \cdot E_{\Pi}} \quad (3.15)$$

$$Y_{\Pi} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 15,2 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН};$$

$$Y_{\text{ср}} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E}, \quad (3.16)$$

де ω – безрозмірний параметр; ψ_2 – коефіцієнт, що визначається за рис.13.17 [6].

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1}, \quad (3.17)$$

де ψ_1, j – коефіцієнти

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

$$K = \frac{D_{\text{ср}}}{D_{\text{вп}}} \text{ – для плоских фланців};$$

$$K = \frac{1,15}{1,0} = 1,15;$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,15 = 6,6 \cdot 10^{-2},$$

$$\psi_2 = \frac{k+1}{k-1} = \frac{1,15+1}{1,15-1} = 14,3;$$

$$j = \frac{h}{s_e} = \frac{0,04}{0,008} = 5. \quad (\text{с.226 [6]})$$

Тоді

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 6,6 \cdot 10^{-2} \cdot 5^2)]^{-1} = 0,52;$$

$$Y_\phi = \frac{[1 - 0,52 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 14,3}{0,04^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,353 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$$A = [15,2 \cdot 10^{-6} + 7,8 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,353 \cdot (1,1 - 1,05)^2]^{-1} = 1871 \text{ МН/м};$$

отже

$$\gamma = 1871 \cdot 7,8 \cdot 10^{-5} = 0,146;$$

зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = 0,146 \cdot 40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 39 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 38) = 0,0033 \text{ МН}.$$

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_{\text{ж}} = \frac{Y_\delta + 0,5Y_{\text{ср}}(D_\delta - D - s_o) \cdot (D_\delta - D_{\text{ср.п}})}{Y_{\text{п}} + Y_\delta + Y_\phi(D_\delta - D_{\text{ср.п}})^2} \quad (3.18)$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{7,8 \cdot 10^{-5} + 0,353 \cdot 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot (1,1 - 1,0 - 0,008) \cdot (1,1 - 1,05)}{15,2 \cdot 10^{-6} + 7,8 \cdot 10^{-5} + 0,353 \cdot (1,1 - 1,05)^2} = 0,91.$$

Визначимо болтове навантаження. В умовах монтажу [8]

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$p_{61} = \max \left\{ k_{ж} \cdot Q_d + R_n, 0,5 \cdot \pi \cdot D_{ср.п} \cdot b_{п} \cdot p_{пр} \right\}, \quad (3.19)$$

де $p_{пр}$ – пробний тиск стиснення прокладки, для пароніту по табл. 4 [8] $p_{пр} = 20$ МПа.

$$p_{61} = \max \left\{ 0,91 \cdot 0,277 + 0,007, 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02 \cdot 20 \right\} = \max \left\{ 0,26, 0,66 \right\} = 0,66 \text{ МН.}$$

За робочих умов [8]

$$p_{62} = p_{61} + (1 - k_{ж}) \cdot Q_d + Q_t \quad (3.20)$$

$$p_{62} = 0,66 + (1 - 0,91) \cdot 0,277 + 0,0033 = 0,69 \text{ МН.}$$

Перевірка міцності та герметичності з'єднання
умова міцності болтів [8]

$$\frac{p_{61}}{Z_6 \cdot f_6} \leq [\sigma_6]^{20}, \quad (3.21)$$

$$\frac{p_{62}}{Z_6 \cdot f_6} \leq [\sigma_6]^t, \quad (3.22)$$

де $[\sigma_6]^{20} = 200$ МПа – для матеріалу болтів при температурі 20°C; $[\sigma_6] = 138$ МПа – для матеріалу болтів при температурі 39°C.

$$\frac{0,66}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 200 = 70,2 \leq 200 \text{ – умова виконується;}$$

$$\frac{0,69}{40 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 138 = 73,4 \leq 138 \text{ – умова виконується.}$$

Визначимо наведений згинальний момент за формулою 1.145 [6]

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_{\delta} - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{\delta 1} \\ 0,5 \cdot (D_{\delta} - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{\delta 2} \end{array} \right\} \quad (3.23)$$

$$M_0 = \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (1,1 - 1,05) \cdot 0,66 \\ 0,5 \cdot (1,1 - 1,05) \cdot 0,69 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,017 \\ 0,018 \end{array} \right\} = 0,018 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

За формулою 1.141 [6] для прокладки з пароніту

$$\frac{p_{\delta \text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} \leq p_{\text{п.р}} \quad (3.24)$$

де $p_{\text{п.р}}$ – допустимий тиск на прокладку по табл. 1.44 [6] $p_{\text{п.р}} = 130$ МПа;

$$p_{\delta \text{max}} = \max \{ p_{\delta 1}; p_{\delta 2} \} \quad (3.25)$$

$$p_{\delta \text{max}} = \max \{ 0,66; 0,69 \} = 0,69 \text{ МН.}$$

$$\frac{p_{\delta \text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} = \frac{0,69}{3,14 \cdot 1,05 \cdot 0,02} = 10,5 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа,}$$

умова міцності виконується.

Для перерізу, обмеженого розміром s_0 перевіряємо умову за формулою 1.147 [6]:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma_0], \quad (3.26)$$

де σ_0 – максимальна напруга в перерізі, обмеженому розміром s_0 , яка визначається за формулою 1.148 [6]; $\varphi = 0,95$ – коефіцієнт міцності зварних швів; $[\sigma_0]$ – допустима напруга для фланця в перерізі s при кількості навантажень з'єднання (складання-розбирання) не більше $2 \cdot 10^3$; σ_t – тангенціальна напруга у втулці від внутрішнього тиску; σ_m – меридіальна напруга у втулці від внутрішнього тиску; за формулою 1.149 [6]

									Арк.
									38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

$$\sigma_m = \frac{p_p \cdot D_{\text{вп}}}{4(s_0 - c)} \quad (3.27)$$

$$\sigma_m = \frac{0,32 \cdot 1,0}{4 \cdot (0,008 - 0,0003)} = 11 \text{ МПа};$$

за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_t = \frac{p_p \cdot D_{\text{вп}}}{2 \cdot (s_0 - c)} \quad (3.28)$$

$$\sigma_t = \frac{0,32 \cdot 1,0}{2 \cdot (0,008 - 0,0003)} = 22 \text{ МПа};$$

за формулою 1.143 і 1.148 [6]

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{\text{сп}} \cdot M_0 \cdot v}{D^* \cdot (s_0 - c)^2}, \quad (3.29)$$

де $\psi_3 = 1$ – для плоских приварних фланців; $T_{\text{сп}}$ – безрозмірний коефіцієнт;
за формулою 1.144 [6]

$$T_{\text{сп}} = \frac{D_{\text{п}}^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_{\text{п}}}{D_{\text{вп}}}\right) - D_{\text{вп}}^2}{(1,05 \cdot D_{\text{вп}}^2 + 1,945 \cdot D_{\text{п}}^2) \cdot \left(\frac{D_{\text{п}}}{D_{\text{вп}}} - 1\right)} \quad (3.30)$$

де $D_{\text{п}} = 1,07$ м – зовнішній діаметр прокладки;

$$T_{\text{сп}} = \frac{1,07^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,07}{1,0}\right) - 1,0^2}{(1,05 \cdot 1,0^2 + 1,945 \cdot 1,07^2) \cdot \left(\frac{1,07}{1,0} - 1\right)} = 1,7,$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$\sigma_0 = \frac{1 \cdot 1,7 \cdot 0,018 \cdot 0,52}{1,07 \cdot (0,008 - 0,0003)^2} = 251 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 570 \text{ МПа}.$$

Умови міцності

$$\sqrt{(251+11)^2 + 22^2} - (251+11) \cdot 22 \leq 0,95 \cdot 570$$

252 < 542 – умова міцності виконана.

Окружний тиск у кільці фланця

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{cp})] \cdot \psi_2}{(D_{вн} \cdot h_{\psi}^2)} \quad (3.31)$$

$$\sigma_k = \frac{0,018 \cdot 14,3 \cdot [1 - 0,52 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)]}{1,0 \cdot 0,04^2} = 49 \text{ МПа}.$$

Визначаємо кут повороту фланця за формулою 1.150 [6]

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D_{вн}}{E \cdot h_{cp}} \leq [\Theta], \quad (3.32)$$

де $[\Theta] = 0,009$ рад – кут повороту фланця, що допускається

$$\Theta = \frac{49 \cdot 1,0}{1,9 \cdot 10^5} = 0,0064 < 0,009 \text{ рад},$$

Тобто умова герметичності з'єднання виконується.

3.3 Розрахунок опори

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

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вибираємо циліндричну опору виконання 3 та проводимо перевірочні розрахунки.

З таблиці (4, VI.1) насипна щільність насадки

$$\rho = 540 \text{ кг/м}^3,$$

тоді маса насадки

$$m_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot \rho \quad (3.33)$$

$$m_1 = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} \cdot 3,0 \cdot 540 = 1272 \text{ кг.}$$

Маса обичайки колони

$$m_2 = \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad (3.34)$$

$$m_2 = 3,14 \cdot (1,0 + 0,008) \cdot 0,008 \cdot 8 \cdot 7850 = 1590 \text{ кг.}$$

Маса оснастки колони приймається у розмірі 20% від маси обичайки

$$m_3 = 0,2 \cdot m_2 \quad (3.35)$$

$$m_3 = 0,2 \cdot 1590 = 318 \text{ кг.}$$

Об'єм колони $V = 6,28 \text{ м}^3$, тоді маса води при гідравлічних випробуваннях

$$m_4 = V \cdot \rho_v \quad (3.36)$$

$$m_4 = 6,28 \cdot 1000 = 6280 \text{ кг.}$$

Наведене навантаження на опору

$$Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g \quad (3.37)$$

$$Q = (1272 + 1590 + 318 + 6280) \cdot 9,81 = 92,8 \cdot 10^3 \text{ Н} = 92,8 \text{ кН.}$$

Міцність зварного з'єднання опори з корпусом визначаємо за умовою

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot a_1} \leq \varphi_s \cdot [\sigma], \quad (3.38)$$

де $a_1 = 6$ мм – розрахункова товщина зварного шва; φ_s – коефіцієнт міцності зварного шва, зазвичай, приймається $\varphi_s = 0,7$.

Тоді

$$\sigma = \frac{4 \cdot 92,8 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1000 \cdot 6} = 19,7 \text{ МПа} \leq 0,7 \cdot 120 = 84 \text{ МПа.}$$

Отже, умова міцності зварного шва виконується.

					<i>6.133.23.04.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

4 Монтаж і ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [14]

Ректифікаційні колони насадочного типу прибувають на монтаж в наступних видах:

- колони повної заводської збірки, випробувані, знежирені і законсервовані для транспортування і зберігання до монтажу;
- колони часткової заводської збірки, що поставляються у вигляді окремих царг (обичайок), заповнених насадкою, знежирені і законсервовані для транспортування і зберігання до остаточної збірки і монтажу в блок;
- колони, що поставляються окремими вузлами і деталями для повного складання на монтажній площадці і монтажу в блок.

Як правило, внутрішні елементи поставляються окремими вузлами і деталями колон і збираються на місці монтажу.

Насадка поставляється в закритих дерев'яних ящиках на піддонах.

Розподільники, опори під насадку, опорні решітки, колектори та інші деталі транспортуються упакованими на відкритих піддонах, закріплені пакувальною стрічкою.

Корпуси колон доставляються без додаткової упаковки з герметично закритими патрубками.

Після доставки на монтажну площадку вузли ректифікаційної колони необхідно ретельно оглянути на предмет порушення упаковки і наявності дефектів.

Всі дефекти заносять в акт (див.додаток ж) і, при необхідності, по ним приймається рішення про допуск до збірки тільки за погодженням з виробником (розробником).

Ящики з насадкою слід відкривати безпосередньо перед початком її монтажу в колону. Про помічені дефекти насадки складається акт (див.додаток ж), і за погодженням з виробником (розробником) приймають рішення про допуск такої насадки до збірки.

Піддони з насадкою і внутрішніми пристроями при зберіганні не рекомендується укладати один на інший.

Всі складальні одиниці і деталі перед складанням колони слід перевірити на відсутність бруду або пошкоджень поверхні. Під час складання звертатися з ущільнюються поверхнями слід особливо акуратно.

Відхилення колони від вертикальної осі повинно бути витримано відповідно до вимог їм блоку, але не більше 0,3%, як по окремих секціях, так і по всій висоті колони.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конкретний порядок складання царг або окремих елементів і насадок в корпус колони необхідно вести відповідно до вказівок їм виробника.

Діаметри колони повинні бути виміряні і не повинні перевищувати зони допусків.

Якщо внутрішній діаметр колони виявився поза вказаною зоною допусків, то, за погодженням з виробником (розробником), вирішується питання про заміну поставлених насадок і внутрішніх пристроїв або додаткової їх підгонці.

Після монтажу слід скласти акт на вивірку ректифікаційної колони за встановленою формою.

4.2 Ремонт апарата [14]

Перед початком ремонту повністю відключаються апарати та трубопроводи установки від робочої частини схеми цеху. Зупинку абсорбера здійснює експлуатаційний персонал. Колона пропарюється парою, а потім продувається інертним газом.

Відключення абсорбера від комунікацій заглушками здійснює ремонтний персонал згідно з відповідною в цеху схемою встановлення заглушок під керівництвом начальника цеху. Після підготовчих операцій (пропарювання, промивання) відкриваються люки абсорбера Люки потрібно відкривати у суворій послідовності, починаючи з верхнього коли абсорбер знаходиться під парою, для запобігання струму повітря через колону при одночасному відкритті нижнього та верхнього люків. Після пропарювання абсорбер промивається водою та провітрюється. Провітрювання необхідно для охолодження абсорбера та доведення концентрації продуктів у ній до допустимих санітарних норм. Після закінчення провітрювання слід провести аналіз проб повітря, взятих з абсорбера на різних висотних відмітках. До робіт всередині абсорбера дозволяється приступити лише тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів та парів не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

Ремонт апарату починають після його розтину, яке необхідно проводити, суворо дотримуючись таких правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсмоктування повітря, в результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори донизу) відкривають решту люків. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній та нижній люки. Не можна відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, оскільки внаслідок різниці температур відбувається

									Арк.
									44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

сильний приплив повітря в колону, що може призвести до утворення вибухонебезпечної суміші. З метою скорочення тривалості ремонтних робіт ще при промиванні колонні водою відвертають частину болтів на тих люках, які розкриватимуться, не порушуючи при цьому герметичності. Після відкриття люків колона деякий час провітрюється в результаті природною конвекцією повітря. Можливість ремонтних робіт у колоні встановлюють, виходячи з результатів лабораторного аналізу проби повітря, взятого з неї. Доступ людей у колону можливий, якщо концентрація вуглеводнів у пробі вбирається у 300 мг/м³, а вміст сірководню – 10мг/м³. Гранично допустимі концентрації інших речовин вказуються в технологічній карті кожної установки, блоку або відділення. При роботі всередині колони необхідно ретельно дотримуватись правил техніки безпеки. Робочий повинен одягати запобіжний пояс із мотузкою, кінець який виводиться назовні та надійно закріплюється; за роботою робочого, що знаходиться всередині колони, постійно спостерігає спеціально виділений для цієї мети робітник. Тривалість безперервної роботи у колоні повинна бути не більше 15 хвилин. Після цього необхідний такий же за тривалістю відпочинок поза колоною (зазвичай робітник і спостерігач міняються місцями). При перших ознаках появи всередині апарату, що ремонтується, вибухонебезпечних, горючих або токсичних рідин, пар і газів будь-яку роботу слід негайно припинити.

До підготовки колони висувають особливо високі вимоги в тому випадку, якщо в ній повинні проводитися вогневі (зварювальні) роботи. Ділянка колони, на якій проводиться зварювання, відокремлюється металевими та просоченими водою дерев'яними настилами, накритими кошмою. Для освітлення всередині колони застосовують лампи напругою не більше 12 В. Переносне освітлення має бути вибухобезпечним. Корпус колони, а також її внутрішні пристрої піддають ретельному огляду. При необхідності огляду всієї поверхні корпусу розбирають внутрішні пристрої або їхню частину. Наприклад, в колонах ректифікації для доступу до тарілок, на рівні яких люки відсутні, розбирають проходи на тарілках, що лежать вище. Виявлення дефектів корпусу, що вимагає високої кваліфікації, включає візуальний огляд для визначення загального стану корпусу та ділянок, схильних до найбільшого зносу; вимірювання залишкової товщини корпусу за допомогою ультразвукових дефектоскопів, шляхом мікрометрування та контрольного просвердлювання отворів; перевірку на щільність зварних швів та роз'ємних з'єднань тощо. За характером виявленого дефекту встановлюють утримання та спосіб ремонту корпусу. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом. Дуже важливе правильне перекидання нового та старого швів. Зношені штуцера та люки вирізають і

									Арк.
									45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

заміняють новими з обов'язковою установкою зміцнюючих кілець. Бажано, щоб зміцнюючі кільця нових штуцерів мали трохи більший діаметр, ніж старі: це дозволяє приварювати їх у новому місці. Ремонту піддають всі штуцери, сигнальні отвори, на кільцях яких під час експлуатації були заглушені пробками.

При кожному ремонті вимірюють фактичну товщину стінки корпусу, що експлуатується колонного апарату, найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце ставить нову ділянку, заздалегідь звальцьовану по радіусу колони. Зварювання роблять встик. Вирізання великих ділянок корпусу може призвести до послаблення перерізу та порушення стійкості. Тому до вирізування дефектної ділянки його зміцнюють стійками, що проставляються усередині або зовні. Число та перетин, стійок та розміри опорних лап розраховують виходячи з умови рівності їх опору вирізаного перерізу. Проміжні обичайки легко заміняють в такий спосіб. Встановлюють підйомні щогли, що утримують верхню неушкоджену частину колони, відокремлюють цю частину від ушкодженої ділянки газорізання і опускають на землю. Пошкоджену частину колони крокують і за допомогою тих же щогл опускають на землю. Заздалегідь підготовлену нову частину колони піднімають і стикують з нижньою частиною колони, потім піднімають її верхню частину. Після перевірки частин, що монтуються, заварюють обидва стикові шви.

Ремонт внутрішніх пристроїв

При ремонті внутрішні пристрої колон очищають від бруду, коксу та інших відкладень. Тверду та тістоподібну масу вигрібають лопаточками та скребками – чистилками, кокс видаляють за допомогою пневматичних відбійних молотків. Видалення відкладень завжди супроводжується підвищенням концентрацій шкідливих газів у колоні; у цей період усередині колони рекомендується працювати у шлангових протигазах. Ремонт внутрішніх пристроїв пов'язаний з багаторазовим підйомом нових та спуском зношених деталей; такі операції бажано механізувати. До верхньої частини корпусу колони кріплять поворотний або нерухомий кран-укосину. Кран можна прикріпити також до стійк центральних пілонів сходових клітей. Визначення зносу та відбраковування внутрішніх пристроїв проводяться згідно з діючими методиками та нормами. Зношені деталі, інколи ж і цілі вузли заміняють новими. Досить трудомісткими є операції, пов'язані з розбиранням закоксованих тарілок та відбійників. Спочатку їх звільняють від коксу механічним чищенням (скребками), потім за допомогою ланцюгових талей, що підвішуються всередині колони за надійні конструкції (наприклад, опорні балки), віддирають кожен елемент від місця посадки. Для цієї операції не

									Арк.
									46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

можна застосовувати троє з лебідкою: за рахунок сили пружності троса вирваний елемент сильно відскакує і може пошкодити колону або завдати травми робітникам, що перебувають у колоні.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						47
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

5 Охорона праці та техніка безпеки на виробництві

Кожне виробництво по-своєму унікальне і специфічне. Починаючи від технологічних процесів і устаткування, що використовується, закінчуючи сировиною і структурою штатного розкладу – щоразу це нове, не схоже на інших підприємств.

Обслуговування судин має доручатися особам, які досягли 18-річного віку, які пройшли медичний огляд, виробниче навчання, перевірку знань кваліфікаційної комісії, інструктаж з безпечного обслуговування судин та посвідчення на право обслуговування судин. Періодична перевірка знань персоналу з обслуговування судин повинна проводитись не рідше ніж через кожні 12 місяців. Допуск персоналу до самостійного обслуговування судин оформляється наказом організації чи розпорядженням по цеху. Усі судини, на які поширюються правила ПБ 03-576-03, повинні бути до пуску в роботу зареєстровані в технагляді товариства. Інструкція повинна перебувати на робочих місцях і видаватися під розпис обслуговуючого персоналу. На робочих місцях мають бути вивішені схеми включення судин.

Обслуговуючий персонал повинен знати: місце розташування судин, їх реєстраційні номери, технологічні номери, робочі параметри, середовище та їх призначення; обов'язки персоналу зі спостереження та контролю за роботою судини протягом зміни; порядок перевірки справності судин, що обслуговуються, і устаткування, що належить до них, у робочому стані; порядок, терміни та способи перевірки арматури, запобіжних пристроїв (ППК, мембрани), приладів автоматики, захисту та сигналізації; порядок пуску в роботу та зупинка судини, в т.ч. у зимовий період часу; заходи безпеки при експлуатації посудини та виведення її в ремонт, додаткові заходи безпеки для судин з пожежонебезпечним, вибухонебезпечним або отруйним середовищем; випадки, що потребують аварійної зупинки судини, передбачені ст. 7.3.1 правил ПБ 03-576-03; дія персоналу під час ліквідації аварійних ситуацій; порядок ведення змінного журналу (оформлення прийому та здавання зміни, записи про перевірки, які здійснюються персоналом на зміні, перевірка записів особою, відповідальною за безпечну експлуатацію судини). На кожній посудині до пуску в експлуатацію має бути на видному місці червоною фарбою зроблений напис або вивішена спеціальна табличка розміром 200x150 мм, де вказується: а) реєстраційний номер; б) технологічний номер; в) дозволений тиск; г) число, місяць та рік наступних внутрішнього огляду та гідравлічного випробування.

									Арк.
									48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

5.1 Вимоги до виробництва [13]

Під час роботи обладнання цеху виробництва робочий персонал наражається на потенційні небезпеки наведені нижче згідно ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»:

підвищена загазованість та запиленість повітря робочої зони в момент розгерметизації обладнання;

відхилення параметрів мікроклімату у робочій зоні (температури, відносної вологості, швидкості руху повітря);

наявність поверхонь із підвищеною температурою;

підвищений рівень шуму на робочих місцях;

підвищений рівень вібрації на робочих місцях;

відсутність або недостатній рівень штучного освітлення робочої зони; розміщення робочого місця на значному рівні щодо землі (підлоги) зони.

На виробництві необхідне точне дотримання нормативно-технічної документації, регламент забезпечує задану продуктивність, якість продукції, безпеку та санітарні умови праці.

Порушення послідовності операцій, відхилення (більше допустимих) від заданих кількостей сировини, що завантажується, температур, тиску можуть призвести до аварій.

Для підтримки необхідного технологічного режиму в безперервних сучасних виробництвах контроль і регулювання процесу автоматизують. На вимірювальних та регулюючих приладах є пересувні контакти, встановлені на межі гранично допустимих відхилень. При досягненні небезпечних параметрів прилади автоматично вимикають відповідне обладнання та включають звукові або світлові сигнали.

На шкалах найпростіших приладів (манометри, термометри) наносять червону межу, що вказує на гранично допустиме відхилення параметра.

5.2 Фізико-хімічні властивості гідрохінона

У великих кількостях токсичний. LD50 становить 302 мг/кг (щури, перорально). При попаданні в організм окислюється до 4-бензохінону, що перетворює гемоглобін на метгемоглобін. Може викликати ураження очей – кон'юнктивіт, і шкіри – дерматит. ГДК для аерозолу становить 2 мг/м³. NFPA 704: небезпека для здоров'я: 2, вогненебезпечність: 1, нестабільність: 1. Підтверджено канцерогенність для тварин з невідомою релевантністю для людини.

									Арк.
									49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

Є сильним відновником. Процес взаємодії з окислювачами відбувається у два етапи – на першому гідрокінон перетворюється на хінгідрон, на другому – на 4-бензохінон.

При взаємодії з водним розчином карбонату калію при 130 °С перетворюється на 2,5-дигідроксибензойну кислоту, з метиламіном під тиском при 200 °С утворює 4-метиламінофенол, з малеїновим ангідридом - нафтазарин, з фталевим ангідридом дає хінізарин. Утворює прості моно-і діефіри при обробці алкілюючі реагентами.

Аналітичне визначення

Гідрокінон може бути визначений за допомогою кольорових реакцій:

поява забарвлення від жовто-зеленого до золотистого при нагріванні гідрокінону до 100 °С з нітритом натрію і розбавленою сірчаною кислотою. При додаванні гідроксиду натрію забарвлення змінюється до жовто-коричневого;

поява темно-червоного забарвлення при додаванні азотної кислоти, що поступово переходить у жовтий колір.

Застосовується:

в аналітичній хімії для визначення рН та деяких іонів металів;

у фотографії як речовина, що виявляє;

у виробництві органічних фарбників, лікарських засобів, фотографічних матеріалів як сировина;

у виробництві харчових продуктів та каучуків як антиоксидант;

у косметичці використовується у засобах для засмаги та як фарба для волосся;

у косметичній медицині для відбілювання шкіри. Через канцерогенність його використання обмежене.;

як інгібітор реакції полімеризації вінілових мономерів, у тому числі для метилметакрилату, що використовується у складі композиційних стоматологічних матеріалів хімічного затвердіння.

Застосування в аналітичній хімії

Використовується при:

фотометричне визначення ніобію та вольфраму;

титриметричне визначення іонів золота та цезію;

при визначенні рН з використанням методу хінгідронного електрода, для чого готують хінгідрон у вигляді еквімолярної суміші хінону та гідрокінону.

Застосування у фотографії

Як єдина речовина, що виявляє, зазвичай застосовується тільки в спеціальних проявниках, призначених для отримання високої оптичної

									Арк.
									50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				

щільності, наприклад, для цілей репродукування або поліграфії, або для отримання коричневого забарвлення на бромосрібних фотопаперах.

Склади з гідрохіноном чутливі до змін температури: оптимальною є 18 °С, при 19 °С швидкість роботи нормальна, але вже при 20 °С починається вуалювання; при зниженні температури до 10 °С прояв практично зупиняється і при досягненні 5 °С припиняється повністю.

Зазвичай застосовується у проявниках разом з метолом або фенідоном, при цьому вуаліруюча здатність, властива гідрохінону, зникає.

5.3 Розрахунок товщини ізоляції апарата

При підрахунку можливих теплових втрат у навколишнє середовище за рахунок променевипускання та конвекції враховуємо, що апарат знаходиться в приміщенні, покритий азбестовою ізоляцією. ($\lambda_{\text{из}} = 0,164 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$) і має температуру зовнішньої стінки $t = 35^\circ\text{C}$, а середня температура навколишнього середовища $t_{\text{в}} = 15^\circ\text{C}$.

Загальна втрата тепла променевипусканням та конвекцією знаходимо за формулою

$$Q_{\text{пот}} = \alpha \cdot F \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{в}}) = \alpha \cdot F \cdot \Delta t, \quad (5.1)$$

де α - сумарний коефіцієнт тепловіддачі променевипусканням та конвекцією, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$.

Для об'єктів, розташованих усередині приміщення, при температурі стінки до 150°C

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t \quad (5.2)$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі, теплообмінну поверхню (зовнішню поверхню ізоляції) та втрати тепла у навколишнє середовище:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot (35 - 15) = 11,14 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$F = \pi \cdot D \cdot H + 2 \cdot 0,785 \cdot D^2 \quad (5.3)$$

$$F = 3,14 \cdot 0,4 \cdot 6,0 + 2 \cdot 0,785 \cdot 0,4^2 = 7,79 \text{ м}^2;$$

$$Q_{\text{пот}} = 11,14 \cdot 7,79 \cdot (35 - 15) = 1736 \text{ Вт.}$$

Кількість тепла, що передається теплопровідністю ізоляції:

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{пот}} = q_L \cdot L = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} \cdot \pi \cdot d_{\text{из.ср}} \cdot L \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}) \quad (5.4)$$

Тут середній діаметр ізоляції залежить від товщини ізоляції.:

$$\frac{\delta_{\text{из}}}{d_{\text{из.ср}}} = \frac{\lambda_{\text{из}} \cdot \pi \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})}{q_L}, \quad (5.5)$$

де $q_L = \frac{Q_{\text{пот}}}{L}$ – питомі теплові втрати на 1 м. довжини циліндричної поверхні, Вт/м.

Умовна довжина поверхні ізоляції, що розраховується.

$$L = \frac{F}{\pi \cdot D} = \frac{7,79}{3,14 \cdot 0,4} = 6,2 \text{ м,}$$

значить

$$q_L = \frac{1736}{6,2} = 280 \text{ Вт/м.}$$

Приймаємо середню температуру стінки апарату

$$t_{\text{вн}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

і позначаємо ставлення $\frac{\delta_{\text{из}}}{d_{\text{из.ср}}}$ через А; знаходим

$$A = \frac{0,164 \cdot 3,14 \cdot (50 - 35)}{280} = 0,028.$$

При А = 0,028 відношення

$$\frac{d_{\text{из.нар}}}{d_{\text{из.вн}}} = 1,06$$

Визначаємо товщину ізоляції

$$\delta_{\text{из}} = \frac{d_{\text{из.нар}} - d_{\text{из.вн}}}{2} = \frac{d_{\text{из.вн}}}{2} \cdot \left(\frac{d_{\text{из.нар}}}{d_{\text{из.вн}}} - 1 \right) =$$

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$= \frac{0,4}{2} \cdot (1,06 - 1) = 0,012 \text{ м} = 12 \text{ мм.}$$

Якщо знаходити зі спрощеного співвідношення (для плоскої стінки):

$$Q_{\text{пот}} = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} \cdot F \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}), \quad (5.6)$$

то

$$\delta_{\text{из}} = \frac{\lambda_{\text{из}} \cdot F \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}})}{Q_{\text{пот}}} \quad (5.7)$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,164 \cdot 7,79 \cdot (50 - 35)}{1736} = 0,011 \text{ м} = 11 \text{ мм.}$$

Перевіряємо температуру внутрішньої поверхні ізоляції

$$\alpha \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{вн}}) = \frac{\lambda_{\text{из}}}{\delta_{\text{из}}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}), \quad (5.8)$$

звідси

$$t_{\text{вн}} = t_{\text{нар}} + \frac{\alpha \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{вн}}) \cdot \delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} \quad (5.9)$$

$$t_{\text{вн}} = 35 + \frac{11,14 \cdot (35 - 15) \cdot 0,011}{0,164} = 49,9 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Розбіжність

$$50 - 49,9 = 0,1 \text{ }^\circ\text{C,}$$

це становить

$$\frac{0,1}{50} \cdot 100\% = 0,2\%,$$

що менше допустимої похибки у розрахунках 3%.

Обчислене значення товщини ізоляції забезпечує допустиму величину температури зовнішнього ізоляції шару.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Висновки

В бакалаврській роботі зроблено опис:

- теоретичні основи процесу абсорбції,
- описана конструкцій абсорбційної колони та вибір матеріалу з якого вона виготовлена,
- приведений опис технологічної схеми установки з описом самого апарату та принцип його роботи,
- зроблені технологічні розрахунки абсорбційної колону,
- виконані розрахунки на міцність такі як розрахунок стінки корпусу апарату та розрахунок стінки кришки,
- розрахунок фланцевого з'єднання вхідного штуцера,
- розрахунок та підбір стандартної опори,
- приведений опис монтажу та ремонту обладнання на виробництві,
- описані вимоги з охорони праці.

					6.133.23.04.00.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. Онищук О. О., Кормош Ж. О. Процеси та апарати хімічних виробництв: курс лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2020. 155 с.
2. Врагов А.П. / Гідромеханічні процеси та обладнання хімічних і нафтохімічних виробництв: Навчальний посібник. – Суми: Видавництво Сумського державного університету, 2001. – 216 с.
3. Дмитренко, І. В. Конспект лекцій з дисципліни "Процеси та апарати хімічних виробництв". Ч. 1. Гідромеханічні процеси для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія / уклад. І. В. Дмитренко, Л. В. Тимошевська ; Держ. ун-т "Одеська політехніка". – Одеса, 2021. – 87 с.
4. Атаманюк В.М. Конспект лекцій з курсу «Розрахунок і конструювання машин та апаратів хімічних та силікатних виробництв. Розрахунок ємнісних апаратів» / В.М. Атаманюк. – Львів : видво НУ «Львівська політехніка», 2001. – 99 с.
- 5 Дубинін А.І. Обладнання для розділення компонентів : навч. посіб. / А.І. Дубинін, Я.М. Ханік, В.М. Атаманюк. – Львів : вид-во НУ «Львівська політехніка», 2005. – 140 с.
- 6 Коваленко І. В. Процеси та апарати хімічної технології: Метод. посіб. з курсу лекцій, практич. та самост. робіт. — К.: НТУУ «КПІ», 2003. — 160 с.
- 7 Коваленко І. В., Малиновський В. В., Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник /. — К.: Інрес : Воля, 2005. — 264 с.: іл. — Бібліогр.: с. 253—255.
- 8 Сукач М.К., Будівельні машини і обладнання. Київ: Ліра-К, 2016, 408 с
- 9 Шевченко О., Марценюк О., Ткачук Н.. Коливання, пульсації і нестационарні режими у сорбційних процесах. Київ: Кондор, 2017, 472 с
- 10 Малишев В., Залюбовський М., Машини та обладнання підприємства. Київ: Університет "Україна", 2020, 120 с
- 11 Малишев В., Залюбовський М., Панасюк І., Машини зі складним рухом робочих ємкостей. Київ: Університет "Україна", 2018, 228 с
- 12 ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. , ШАПОРЕВ В. П. , МОІСЕЄВ В. Ф. та інші Машини та апарати у хімічних, харчових і переробних виробництвах, Харків: Колегіум, 2011, 606 с web.kpi.kharkov.ua/http
- 13 Рожков А.П. Пожежна безпека: Навчальний посібник. – Київ: Пожінформтехніка, 1999. –256 с.
- 14 Моїсеєв В.Ф., Манойло Є. В. , Манойло Ю.О., Пітак І.В. та інші Машини та апарати у хімічних, харчових і переробних виробництвах: Лабораторний практикум, Харків: НТМТ, 2011, 220 с web.kpi.kharkov.ua/http

									Арк.
									55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	6.133.23.04.00.00.00 ПЗ				