МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР

зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема роботи: Виробництво оцтової кислоти. Ректифікаційна колона для розділу суміші оцтова кислота-вода потужністю по кислоті 25 т/добу.

Виконав студент Ткачук В.О.

Залікова книжка:

№_____

Захищений з оцінкою: _____

Керівник проекту Закусило Р.В.

ШІ Сум ДУ 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Спеціальність: Галузеве машинобудування

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. Кафедрою
_____
«___» _____20__р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВР

Студенту: Ткачук В.О.
група ____ХМзт-81ш _____курс _____IV_____

1. **Тема курсової роботи:** «Виробництво оцтової кислоти. Ректифікаційна колона для розділу суміші оцтова кислота-вода потужністю по кислоті 25 т/добу»

2. **Вихідні дані**: Продуктивність 25 т/добу, склад продуктів за легкокиплячим компонентом у вихідній суміші 60% (мол.), в дистиляті 91,2% (мол.), в кубовій суміші 12,5%. Тип тарілок - ситчасті.

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)
3.1 Загальний вигляд 2хА1;
3.2 Технологічна схема 1хА1;
3.3 Складальні креслення 1хА1.

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 комплексного курсового 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 проекту						х

6. Дата видачі завдання _____Березень_____ _2022 р
7. Термін захисту курсової роботи __Червень 2022р.
Керівник комплексної курсової роботи __ ___ Закусило Р.В._____

Реферат

Пояснювальна записка: 56 с, 2 рисунки, 2 таблиці, 13 літературних джерел. Графічні матеріали: складальне креслення апарата, технологічна схема, креслення складальних одиниць листів 4 формату А1.

Тема: Виробництво оцтової кислоти. Ректифікаційна колона для розділу суміші оцтова кислота-вода потужністю по кислоті 25 т/добу.

Розроблена технологічна схема виробництва. Описані теоретичні основи процесу ректифікації. Описаний принцип дії та конструкція ректифікаційної 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, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, ОЦТОВА КИСЛОТА.

Зміст

Вступ 5
1 Технологічна частина 7
1.1 Опис технологічної схеми виробництва 7
1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації [3] 7
1.3 Опис конструкції колони та вибір конструкційних матеріалів 9
1.3.1 Опис конструкції колони 9
1.3.2 Вибір конструкційних матеріалів 10
2 Технологічні розрахунки процесу і апарату 12
2.1 Матеріальний баланс процесу 12
2.2 Технологічні розрахунки 14
2.3 Конструктивні розрахунки 19
2.4 Гідравлічний опір апарата 21
2.5 Тепловий баланс установки 25
2.6 Вибір допоміжного обладнання 28
3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність 33
3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу 33
3.2 Розрахунок товщини стінки кришки 34
3.3 Розрахунок фланцевого з'єднання 35
3.4 Розрахунок опори 45
4 Монтаж і ремонт апарату 47
4.1 Монтаж колони 47
4.2 Проведення ремонтних робіт 48
5 Охорона праці 50
5.1 Аналіз потенційних небезпек під час роботи 50
5.2 Розрахунок запобіжного пристрою у разі різкого підвищення тиску 52
Висновки 55
Література 56

					6.133.22.05.00.00.00 ПЗ	
Зм.	*Аркуш*	*№ докум*	*Підпис*	*Дата*		
Розроб.		*Ткачук*			*Виробництво оцтової кислоти. Ректифікаційна колона для розділу суміші оцтова кислота-вода потужністю по кислоті 25 т/добу Пояснювальна записка*	*Літ* / *Аркуш* 4 / *Аркушів* 56
Перев.		*Закусило*				
Н. Контр.						*ШІ Сум ДУ гр. ХМзт-81Ш*
Затвердив						

Вступ

Проблеми отримання оцтової кислоти високої якості з вихідної суміші вимагають до себе великої уваги, тому що неправильне та неякісне дотримання технологічних процесів не дозволяє отримати продукти необхідного ступеня очищення.

Зі всього технологічного ланцюжка слід виділити відділення ректифікації, де від якості виконання технологічного процесу і правильно підібраного апаратного оформлення залежать кінцеві властивості готового продукту. Причому технологічна схема прийнята типовий для поділу сумішей, де кількість колон в установці дорівнює кількості компонентів вихідної суміші. Такий вибір обумовлений практикою експлуатації даного виробництва, відмінність полягає в деяких конструктивних особливостях задіяних апаратів.

Ректифікація – масообмінний процес, який здійснюється здебільшого у проточних колонних апаратах з контактними елементами (насадки, тарілки), аналогічними у процесах абсорбції. Тому методи підходу до розрахунку та проектування ректифікаційних та абсорбційних установок мають багато спільного. Проте ряд особливостей процесу ректифікації (різне співвідношення навантажень по рідині та парі в нижній та верхній частинах колони; змінний за висотою коефіцієнт розподілу, спільний перебіг процесів масо- та теплоперенесення) ускладнює його розрахунок. Вибір конструкції колони та контактних елементів залежить від багатьох факторів і визначається в основному економічною доцільністю, вартістю процесу ректифікації та вимогами до готового продукту.

Протягом тривалого часу конструкції ректифікаційних установок з виробництва оцтової кислоти модернізувалися і практика експлуатації показала, що при виробництві оцтової кислоти переважного поширення набули колонні апарати з ситчастими та ковпачковими тарілками.

Раціональний вибір типу контактних пристроїв для конкретного випадку пов'язаний із певними труднощами. При виборі слід керуватися такими вихідними даними:

- характером кривої рівноваги фаз;
- фізичними характеристики системи, що розділяється;
- продуктивністю проектованої установки;
- рівнем витрат та вартістю енергії;
- необхідним ступенем чистоти кінцевих продуктів та їх якістю;
- вартістю виготовлення та монтажу установок з тими чи іншими контактними вузлами.

Врахувати всі ці різноманітні фактори і визначити їх кількість досить складно. До теперішнього часу при розробці установок ректифікації з отримання оцтової кислоти орієнтуються на досвід промисловості і обмежуються небагатьма типами тарілкових конструкцій. Сюди відносяться: одноковпачкові тарілки, тарілки подвійного кип'ятіння, багатоковпачкові тарілки та ситчасті тарілки зі зливальними пристроями.

Дефлегматор є необхідною частиною установки ректифікації. Основне його призначення полягає у постачанні колони флегмою. Якщо колона не живиться флегмою, то пари в ній конденсуються лише за рахунок втрати тепла в навколишній простір. Якщо припустити, що втрата тепла колони дорівнює нулю, така колона працює без флегми. У такому випадку на тарілках колони немає рідкої фази і, отже, апарат працює як куб, без колони, що зміцнює. Наявність на тарілках флегми створює можливість багаторазового контакту пари та рідини, що містить низькокиплячий компонент. Це створює процес складної ректифікації. Разом з цим основним завданням дефлегматор також зміцнює пари, що надходять із колони. Це зміцнення відбувається за рахунок:

1. утворення при конденсації складної парової суміші конденсату, збагаченого висококиплячим компонентом;

2. контакту в дефлегматоре між стікаючим конденсатом та парою. У цьому випадку на ефект, що зміцнює, впливає конструкція дефлегматора.

Розрізняють два випадки дефлегмації:

- одноразова дефлегмація, при цьому водно-спиртові пари, що надходять в простір, що охолоджується, миттєво конденсуються. Тут рідка фаза, що випадає, відразу виводиться з контакту з несконденсованою парою;

- Поступова дефлегмація, при цьому процес конденсації відбувається поступово. Конденсат, що утворюється, не видаляється, а знаходиться в контакті з парою. Поступова дефлегмація ефективніша щодо пар кислоти.

При конструюванні дефлегматорів, якщо ми хочемо збільшити їхній зміцнюючий ефект, потрібно прагнути до того, щоб створити сприятливіші умови саме для поступової дефлегмації. Для цього необхідно подовжити шлях проходження пари в дефлегматорі і зменшити різницю температур між охолодною рідиною і парами, що конденсуються.

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми виробництва

Ректифікація на установці, що має 60 тарілок, протікає наступним чином. Сира, 60% оцтова кислота в рідкому вигляді надходить в колону 3, що має 40 тарілок. Місце введення оцтової кислоти в цю колону знаходиться біля десятої тарілки, рахуючи зверху. Пари розведеної 40%-ної оцтової кислоти, пройшовши дефлегматор 4, конденсуються в холодильнику 5, з якого конденсат стікає в збірник 9. Пара концентрованої оцтової кислоти з нижньої частини колони 3 надходять в холодильник, звідки витікає крижана оцтова кислота.

Розведена 40%-ва оцтова кислота зі збірника через регулятор швидкості подачі надходить у другу колону 11, що має 20 тарілок.

У цій колоні повторюється процес ректифікації. Пари ще більш розбавленої 8,8%-ної оцтової кислоти надходять у дефлегматор 12 і далі в холодильник 15, а концентрована 87,5%-на оцтова кислота збирається в кубі колони, звідки її направляють на подальше концентрування в колону 3.

На установках ректифікації даного типу відганяють розведену оцтову кислоту, що містить не більше 10% CH_3COOH. Тому вихід концентрованої оцтової кислоти з сирої на цих установках значно вищий, ніж на установках інших типів, але концентрована кислота виходить менш чистою.

Досвід експлуатації технологічних схем виробництв одержання оцтової кислоти за тривалий період дозволив визначити технологічні режими процесу ректифікації, які відображені в таблиці 1 [с.181, 10].

1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації [3]

Розглядаючи взаємодію пари та рідини в ректифікаційному апараті, зробимо наступні припущення:

а) мольні теплоти випаровування компонентів однакові, тому кожен кілограм-моль пари при конденсації випаровує відповідно кілограм-моль рідини і, отже, мольний потік пари, що рухається в апараті знизу вгору, однаковий у будь-якому перерізі апарата;

б) при конденсації пари в конденсуючому пристрої агрегату не відбувається зміни складу пари і, отже, склад пари, що йде з ректифікаційного апарату, дорівнює складу дистиляту $y_p = x_p$;

в) при випаровуванні рідини в нижній частині агрегату випарника не відбувається зміни її складу і, отже, склад пари, що утворюється у випарнику, дорівнює складу залишку $y_w = x_w$;

Кількість дистиляту, отриманого в конденсаторі, дорівнює кількості пари, що прямує в цей пристрій. Отриманий в конденсаторі дистилят ділиться на дві частини - одна частина прямує назад в колону (флегма), інша є продуктом, що відбирається (дистилят).

Нехай для отримання 1 кмоль дистиляту необхідні випаровування D кмоль рідини та повернення в апарат шляхом конденсації для взаємодії з паровим потоком R кмоль. Останню величину назвемо флегмовим числом; вона є відношенням кількості поверненого в колону дистиляту (флегми) до кількості відібраного дистиляту у вигляді продукту.

Кількість пари, отриманої в нижній частині апарату ректифікації, що проходить по колоні і переходить в конденсатор, званий дефлегматором, дорівнює

$$D \cdot G_p = G_p \cdot R + G_p \text{ або } D = R + 1. \quad (1.1)$$

Отримана рівність доводить, що поділ суміші при ректифікації можливий в результаті взаємодії потоків парів і рідин в апараті ректифікації при кратності випаровування (R + 1) і кратності конденсації R.

Для визначення флегмового числа та виведення рівнянь ліній робітничих концентрацій необхідно розглянути матеріальний баланс ректифікації.

Матеріальний баланс ректифікації за летючим компонентом може бути виражений загальною для всіх масообмінних процесів рівністю

$$G \cdot dy = L \cdot (-dx). \quad (1.2)$$

Нехай кількість взаємодіючих пар складе G кмоль, а рідини L кмоль. Тоді, згідно з прийнятими позначеннями, $G = (R+1) \cdot G_p$, а $L = R \cdot G_p$ – для верхньої частини ректифікаційного апарату та $L = (R+F) \cdot G_p$ – для нижньої частини апарату. Таким чином, для верхньої та нижньої частин апарату рівняння матеріального балансу запишуться у вигляді

$$(R+1)dy = R(-dx); \quad (1.3)$$

$$(R+1)dy = (R+F)(-dx). \quad (1.4)$$

Для довільного перерізу верхньої частини апарату, де робочі концентрації x і y, та верху, де концентарції x_p і y_p, отримаємо

$$(R+1) \cdot (y_p - y) = (R+1) \cdot (x_p - y) = R \cdot (x_p - x) \quad (1.5)$$

або

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_p}{R+1} = A \cdot x + B. \quad (1.6)$$

Для довільного перерізу нижньої частини апарату, де робочі концентрації x і y, і низу, де концентрації рідини та пари x_w і y_w, отримаємо

$$(R+1) \cdot (y - y_w) = (R+1) \cdot (y - x_w) = (F+R) \cdot (x - x_w) \quad (1.7)$$

або

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_w = A' \cdot x + B'. \quad (1.8)$$

Отримані рівняння є рівняннями ліній робочих концентрацій для верхньої та нижньої частини ректифікаційного апарату.

Крім того, з рівняння для перерізу апарату, що відповідає введенню вихідної суміші (x_f, y_f), та верхи апарату (x_p, y_p) маємо

$$(R+1) \cdot (x_p - y_f) = R \cdot (x_p - x_f), \quad (1.9)$$

звідси

$$R = \frac{x_p - y_f}{y_f - x_f}. \quad (1.10)$$

1.3 Опис конструкції колони та вибір конструкційних матеріалів

1.3.1 Опис конструкції колони

Колона є вертикальним циліндром, виготовленим з металу або кераміки і що складається з декількох цанг, з'єднаних герметично за допомогою роз'ємних фланців.

Капсульні ковпачки або ковпачки з круглим перетином в більшості випадків застосовуються в колонах невеликих діаметрів при діаметрально протилежному розташуванні припливних і вершкових трубок або при периферійному і радіальному зливі флегми, коли рідина тече в площині тарілки в одному напрямку, а по висоті колони - зигзаг. Такий перелив флегми може застосовуватись і для тарілок з іншими типами ковпачків.

Для великих діаметрів колон застосовуються тарілки з тунельними ковпачками, так як, наприклад, при діаметрі колони 3 м на одній тарілці замість 284-288 капсульних ковпачків достатньо за умов тепло- та масообміну розмістити тільки 20 тунельних ковпачків.

Дослідження останніх років показали, що нерівномірність роботи тарілок та перемішування рідини на тарілці більш істотні, ніж унесення та нерівномірність контакту. Особливо погіршує роботу тарілок поперечна

нерівномірність, що виникає на прямокутних, тунельних та жолобкових тарілках. Тому колони з тунельними ковпачками застосовуються все рідше.

По конструкції корпусів розрізняють в основному три типи колон:

1) корпус зібраний із окремих цанг, що з'єднуються між собою фланцями на прокладці. Кришку і дно кріплять таким же способом. У такому корпусі не влаштовують люків-лазів;

2) корпус цільнозварний; кришку кріплять за допомогою фланцевого з'єднання. Для огляду у корпусі передбачають оглядові люки;

3) корпус цільнозварний, до нього приварюють кришку та днище. Для монтажу та демонтажу тарілок його обов'язково постачають люками-лазами.

Ректифікаційні колони виготовляють здебільшого з листової сталі. Конструкція ковпачкових тарілок приймається залежно від знайденого значення діаметра колони та режиму роботи тарілок. Відстань між тарілками приймають із низки значень: 200; 250; 300; 350; 400; 450 та 500 мм.

Глухі частини тарілок та інших внутрішніх пристроїв повинні мати дренажні отвори, що забезпечують повне зливання рідини при зупинці апарата. Глухі порожнини колон та їх частин повинні мати отвори для видалення повітря перед гідравлічним випробуванням.

У конструкціях опор колонних апаратів необхідно передбачати лази чи вікна для огляду зварних швів та полегшення обслуговування. Для колон діаметром 800 мм і більше лази мають бути діаметром не менше 500 мм.

У клапанних тарілках прогин секцій після встановлення не повинен перевищувати 3 мм. Відстань між отворами під клапани виконують з допуском 1,0 мм. Загальний прогин встановленої тарілки не повинен перевищувати 3 мм.

1.3.2 Вибір конструкційних матеріалів

Вибір конструкційного матеріалу, що визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарату (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості продукту, що переробляється і т. д.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення елемента (вироби).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням матеріалу з підвищеною вимогою до його якості, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12Х18Н10Т, що відрізняється стійкістю майже до всіх зовнішніх впливів середовища. Сталь добре деформується в гарячому та холодному стані та легко зварюється, що полегшує виготовлення корпусних деталей методом

згинання та забезпечує високу якість зварювальних швів. До недоліків цієї сталі слід віднести те, що через велику в'язкість вона гірше піддається механічній обробці. Однак, враховуючи, що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику елементів конструкції, що зварюються, 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 перероблениим середовищем, приймаємо конструкційну сталь 20. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності та досить високими фізико-механічними властивостями.

2 Технологічні розрахунки процесу і апарату

2.1 Матеріальний баланс процесу

Відповідно до технологічної схеми та даних масові концентрації по вихідній суміші у другій колоні при флегмовому числі R = 4:

вихідної суміші $\overline{x}_F = 0,6;$

дистилята $\overline{x}_D = 0,912;$

кубового залишку $\overline{x}_W = 0,125.$

Годинна продуктивність колони

$$G_F = \frac{25000}{24} = 1042 \text{ кг/год}$$

Позначимо масову витрату через G_D, кубовий залишок G_W. З рівнянь матеріального балансу визначимо масові витрати дистиляту та кубового залишку

$$G_D = G_F \cdot \frac{\overline{x}_F - \overline{x}_W}{\overline{x}_D - \overline{x}_W} \qquad (1.11)$$

де G_F – витрата вихідної рідини, кг/год;

$$G_D = 1042 \cdot \frac{0,6 - 0,125}{0,912 - 0,125} = 629 \text{ кг/год}$$

$$G_W = G_F \cdot \frac{\overline{x}_D - \overline{x}_F}{\overline{x}_D - \overline{x}_W} \qquad (1.12)$$

$$G_W = 1042 \cdot \frac{0,912 - 0,6}{0,912 - 0,125} = 413 \text{ кг/год.}$$

Секундні витрати

$$G_D = \frac{629}{3600} = 0,17 \text{ кг/с},$$

$$G_W = \frac{413}{3600} = 0,12 \text{ кг/с},$$

$$G_F = \frac{1042}{3600} = 0{,}29\,\text{кг/с}.$$

Виразимо концентрації живлення, дистиляту та кубового залишку в мольних частках:

$$x_F = \frac{\frac{\overline{x}_F}{M_в}}{\frac{\overline{x}_F}{M_в} + \frac{1-\overline{x}_F}{M_у}} \tag{1.13}$$

де $M_в$ = 18 кг/кмоль і $M_у$ = 60 кг/кмоль – мольні частки води та оцтової кислоти відповідно.

$$x_F = \frac{\frac{0{,}6}{18}}{\frac{0{,}6}{18} + \frac{1-0{,}6}{60}} = 0{,}832$$

$$x_D = \frac{\frac{\overline{x}_D}{M_в}}{\frac{\overline{x}_D}{M_в} + \frac{1-\overline{x}_D}{M_у}} \tag{1.14}$$

$$x_D = \frac{\frac{0{,}912}{18}}{\frac{0{,}912}{18} + \frac{1-0{,}912}{60}} = 0{,}972$$

$$x_W = \frac{\frac{\overline{x}_W}{M_в}}{\frac{\overline{x}_W}{M_в} + \frac{1-\overline{x}_W}{M_у}} \tag{1.15}$$

$$x_W = \frac{\frac{0{,}125}{18}}{\frac{0{,}125}{18} + \frac{1-0{,}125}{60}} = 0{,}321$$

2.2 Технологічні розрахунки

З додатка Х [1] маємо рівноважні склади рідини (х) і (у), мольних %, і температури кипіння (t) в °С суміші вода – оцтова кислота при атмосферному тиску, які заносимо до таблиці 1.

Таблиця 1

x	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y	0	9,2	16,7	30,3	42,5	53	62,6	71,6	79,5	86,4	93	100
t	118,1	115,4	113,8	110,1	107,5	105,8	104,4	103,3	102,1	101,3	100,6	100

За даними таблиці 1 будуємо криву рівноваги суміші оцтова кислота-вода.

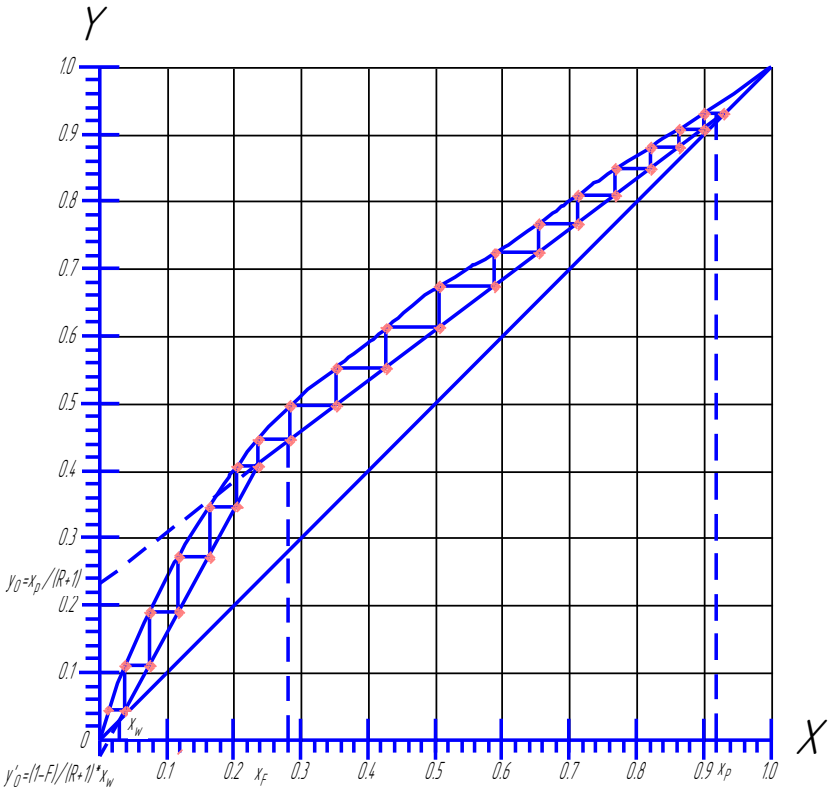

Рисунок 1 - Графічне визначення числа теоретичних тарілок

Відносна мольна витрата харчування

$$F = \frac{x_D - x_W}{x_F - x_W} \qquad (1.16)$$

$$F = \frac{0{,}972 - 0{,}321}{0{,}832 - 0{,}321} = 1{,}27$$

Робоча кількість флегми

$$R = 4$$

Рівняння робочих ліній:
верхній частині колони

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1} \qquad (1.17)$$

$$y = \frac{4}{4+1} \cdot x + \frac{0{,}972}{4+1} = 0{,}8 \cdot x + 0{,}194;$$

нижній частині колони

$$y = \frac{R+F}{R+1} \cdot x - \frac{F-1}{R+1} \cdot x_W \qquad (1.18)$$

$$y = \frac{4+1{,}27}{4+1} \cdot x - \frac{1{,}27-1}{4+1} \cdot 0{,}321 = 1{,}054 \cdot x - 0{,}017.$$

Наносимо на діаграму становища робочих ліній. Відклавши на осі ординат 0194 (194%), наносимо робочу лінію АВ для верхньої частини колони. Через точки А та З проводимо робочу лінію для нижньої частини колони.
Середні концентрації рідини:
у нижній частині колони

$$x_{ср.н} = \frac{x_F + x_W}{2}$$

$$x_{ср.н} = \frac{0{,}832 + 0{,}321}{2} = 0{,}577$$

у верхній частині колони

$$x_{ср.в} = \frac{x_D + x_F}{2}$$

$$x_{ср.в} = \frac{0{,}972 + 0{,}832}{2} = 0{,}902$$

Середні концентрації пари за рівняннями робочих ліній:
у верхній частині колони

$$y_{ср.в} = 0{,}8 \cdot x_{ср.в} + 0{,}194$$

$$y_{ср.в} = 0{,}8 \cdot 0{,}902 + 0{,}194 = 0{,}916;$$

у нижній частині колони

$$y_{ср.н} = 1{,}054 \cdot x_{ср.н} - 0{,}017$$

$$y_{ср.н} = 1{,}054 \cdot 0{,}577 - 0{,}017 = 0{,}591.$$

Середні температури пари знаходимо з таблиці 1 (див. вище) методом інтерполяції:

при $y_{ср.в} = 0{,}916$ $t_{ср.в} = 100{,}8$ °С;
при $y_{ср.н} = 0{,}591$ $t_{ср.н} = 105{,}2$ °С.

Середні мольні маси і щільності пари:
у верхній частині колони

$$M_{ср.в} = y_{ср.в} \cdot M_в + (1 - y_{ср.в}) \cdot M_y \qquad (1.19)$$

$$M_{ср.в} = 0{,}916 \cdot 18 + 0{,}084 \cdot 60 = 21{,}53 \text{ кг/кмоль},$$

$$\rho_{ср.в} = \frac{M_{ср.в} \cdot T_0}{22{,}4 \cdot T_{ср.в}} \qquad (1.20)$$

$$\rho_{ср.в} = \frac{21{,}53 \cdot 273}{22{,}4 \cdot (273 + 100{,}8)} = 0{,}7 \text{ кг/м}^3;$$

у нижній частині колони

$$M_{ср.н} = y_{ср.н} \cdot M_в + (1 - y_{ср.н}) \cdot M_y \qquad (1.21)$$

$$M_{ср.н} = 0{,}591 \cdot 18 + 0{,}409 \cdot 60 = 35{,}18 \text{ кг/кмоль},$$

$$\rho_{ср.н} = \frac{M_{ср.н} \cdot T_0}{22{,}4 \cdot T_{ср.н}} \qquad (1.22)$$

$$\rho_{ср.н} = \frac{35{,}18 \cdot 273}{22{,}4 \cdot (273+105{,}2)} = 1{,}13 \text{ кг/м}^3.$$

Температура у верху колони при x_D = 0,972 дорівнює 100,3°С, а в кубі-випарнику при x_W = 0,321 дорівнює 109,2°С.

Щільність води при 100,3°С $\rho_в$ = 958 кг/м^3, оцтової кислоти при 109,2°С $\rho_у$ = 929 кг/м^3 (1, додаток І).

Мольна маса вихідної суміші та дистиляту

$$M_F = M_в \cdot x_F + M_у \cdot (1 - x_F)$$

$$M_F = 18 \cdot 0{,}832 + 60 \cdot 0{,}168 = 25{,}06 \text{ кг/кмоль},$$

$$M_D = M_в \cdot x_D + M_у \cdot (1 - x_D)$$

$$M_D = 18 \cdot 0{,}972 + 60 \cdot 0{,}028 = 19{,}18 \text{кг/кмоль}.$$

В'язкість рідких шарів μ_x знаходимо за формулою (4, VII.11)

$$\lg \mu_x = x_{ср} \cdot \lg \mu_Б + (1 - x_{ср}) \cdot \lg \mu_у, \qquad (1.23)$$

де $\mu_в$ и $\mu_у$ – в'язкість води та оцтової кислоти при температурі суміші. додаток ІІ [1]

$$\mu_{в.в} = 0{,}284 \cdot 10^{-3} \text{Па·с};$$
$$\mu_{у.в} = 0{,}46 \cdot 10^{-3} \text{Па·с};$$
$$\mu_{в.н} = 0{,}242 \cdot 10^{-3} \text{Па·с};$$
$$\mu_{у.в} = 0{,}388 \cdot 10^{-3} \text{Па·с}.$$

Тоді відповідно в'язкість рідини у верхній та нижній частині колони

$$\lg \mu_{х.в} = x_{ср.в} \cdot \lg \mu_{в.в} + (1 - x_{ср.в}) \cdot \lg \mu_{у.в}$$

$$\lg\mu_{х.в} = 0{,}902 \cdot \lg 0{,}284 \cdot 10^{-3} + 0{,}098 \cdot \lg 0{,}46 \cdot 10^{-3}$$

звідси

$$\mu_{х.в} = 0{,}298 \cdot 10^{-3}\,\text{Па·с};$$

$$\lg\mu_{х.н} = x_{ср.н} \cdot \lg\mu_{в.н} + (1 - x_{ср.н}) \cdot \lg\mu_{у.н}$$

$$\lg\mu_{х.н} = 0{,}577 \cdot \lg 0{,}242 \cdot 10^{-3} + 0{,}423 \cdot \lg 0{,}388 \cdot 10^{-3}$$

звідси

$$\mu_{х.в} = 0{,}302 \cdot 10^{-3}\,\text{Па·с};$$

Попередньо приймаємо відстань між тарілками h=400 мм. Значення коефіцієнта С, що залежить від конструкції тарілок, відстані між тарілками (2, рис. 7.2)

$$C = 0{,}044.$$

Швидкість пари:
у верху колони

$$\omega_в = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_ж - \rho_п}{\rho_п}}, \qquad (1.24)$$

де $\rho_ж$, $\rho_п$ – щільність рідини та пари вгорі колони відповідно, кг/м^3;

$$\omega_в = 0{,}044 \cdot \sqrt{\frac{958 - 0{,}7}{0{,}7}} = 1{,}63\,\text{м/с},$$

в низу колони

$$\omega_н = C \cdot \sqrt{\frac{\rho_ж - \rho_п}{\rho_п}}, \qquad (1.25)$$

де $\rho_ж$, $\rho_п$ – щільність рідини та пари внизу колони відповідно, кг/м^3;

$$\omega_н = 0{,}044 \cdot \sqrt{\frac{929 - 1{,}13}{1{,}13}} = 1{,}26\,\text{м/с}.$$

2.3 Конструктивні розрахунки

Середній масовий потік у колоні

$$G_в = G_D \cdot (R+1) \cdot \frac{M_{ср.в}}{M_D} \quad (1.26)$$

$$G_в = 0{,}17 \cdot (4+1) \cdot \frac{21{,}53}{19{,}18} = 0{,}95 \text{кг/с};$$

$$G_н = G_D \cdot (R+1) \cdot \frac{M_{ср.н}}{M_D} \quad (1.27)$$

$$G_н = 0{,}17 \cdot (4+1) \cdot \frac{35{,}18}{19{,}18} = 1{,}56 \text{кг/с}.$$

Діаметр колони ректифікації визначаємо з рівняння витрати (4, VII.12)

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}}. \quad (1.28)$$

Тоді діаметр верхньої та нижньої частини колони відповідно дорівнює

$$D_в = \sqrt{\frac{4 \cdot G_в}{\pi \cdot \omega_в \cdot \rho_{ср.в}}}$$

$$D_в = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}95}{3{,}14 \cdot 1{,}63 \cdot 0{,}7}} = 1{,}03 \text{м},$$

$$D_н = \sqrt{\frac{4 \cdot G_н}{\pi \cdot \omega_н \cdot \rho_{ср.н}}}$$

$$D_н = \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}56}{3{,}14 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}13}} = 1{,}181 \text{м};$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони, однакове для верхньої та нижньої частини D = 1000 мм. При цьому дійсні робочі швидкості пари в колоні дорівнюватимуть

$$\omega_в = 1{,}63 \cdot \left(\frac{1{,}03}{1{,}0}\right)^2 = 1{,}73 \text{ м/с};$$

$$\omega_н = 1{,}26 \cdot \left(\frac{1{,}181}{1{,}0}\right)^2 = 1{,}75 \text{ м/с}.$$

Наносимо на діаграму у–х робочі лінії верхньої та нижньої частини колони та знаходимо число ступенів зміни конструкції $n_т$. У верхній частині колони $n_т \approx 5$, у нижній частині $n_н \approx 5$, всього 10 ступенів зміни конструкції.

Число тарілок розраховуємо за рівнянням (2, 7.19)

$$n = \frac{n_т}{\eta}. \qquad (1.29)$$

Для визначення середнього ККД тарілок η знаходимо коефіцієнт відносної леткості компонентів, що розділяються $\alpha = P_в/P_у$ та динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші μ при середній температурі в колоні 104,8°С.

При цій температурі тиск насиченої пари води $P_в$ = 1044 мм рт. ст. оцтової кислоти $P_у$ = 401 мм рт. ст. (1, додаток XI), звідси

$$\alpha = \frac{1044}{401} = 2{,}6.$$

Динамічний коефіцієнт в'язкості води при 104,8°С дорівнює $\mu_в = 0{,}265 \cdot 10^{-3}$ Па·с, оцтової кислоти, $\mu_{у.в} = 0{,}426 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Динамічний коефіцієнт в'язкості вихідної суміші

$$\ln \mu_F = x_F \cdot \ln \mu_в + (1 - x_F) \cdot \ln \mu_у, \qquad (1.30)$$

тобто

$$\lg \mu_F = 0{,}832 \cdot \lg 0{,}265 \cdot 10^{-3} + 0{,}168 \cdot \lg 0{,}426 \cdot 10^{-3},$$

звідси

$$\mu_F = 0{,}292 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с} = 0{,}292 \text{ мПа·с}.$$

Тоді

$$\alpha \cdot \mu_F = 2{,}6 \cdot 0{,}292 = 0{,}759.$$

За графіком (2, рис. 7.4) знаходимо η = 0,48.

Довжина шляху рідини на тарілці. (3, табл. 86) $l_ж$ = 2,112 м.

За графіком (2, рис. 7.5) знаходимо значення поправки на довжину колії Δ = 0,22.

Середній ККД тарілок

$$\eta_l = \eta \cdot (1 + \Delta) \tag{1.31}$$

$$\eta_l = 0{,}48 \cdot (1 + 0{,}22) = 0{,}59.$$

Тоді число тарілок:

у верхній частині колони

$$n'_в = \frac{n_в}{\eta}$$

$$n'_в = \frac{5}{0{,}59} = 9$$

у нижній частині колони

$$n'_н = \frac{n_н}{\eta}$$

$$n'_н = \frac{5}{0{,}59} = 9$$

Загальна кількість тарілок n = 18, із запасом n = 20, їх у верхній частині колони $n_в$ = 10 і в нижній частині $n_н$ = 10.

Висота тарілчастої частини колони

$$H_т = (n - 1) \cdot h \tag{1.32}$$

$$H_т = (20 - 1) \cdot 0{,}4 = 7{,}6 \text{м}.$$

2.4 Гідравлічний опір апарата

З таблиці 8.7 [3] вибираємо тарілку типу ТС, яка має такі параметри:

діаметр отворів d_0 = 4 мм;

робоча площа тарілки $F_р$ = 0,713 м^2;

площа зливу $F_{сл}$ = 0,036 м^2;

периметр зливу П = 0,8 м;

довжина шляху рідини $l_ж$ = 0,59 м.

Гідравлічний опір тарілки у верхній та нижній частині колони за рівнянням (2,1.60)

$$\Delta p = \Delta p_{сух} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{пж} \quad (1.33)$$

Верхня частина колони.

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = \frac{\zeta \cdot \omega_0^2 \cdot \rho}{2} \quad (1.34)$$

де ζ = 1,82 коефіцієнт опору неорошуваних ситчастих тарілок з вільним перетином 7 – 10%; ω_0 – швидкість пари в отворах тарілки, рівна

$$\omega_0 = \frac{\omega}{0{,}08} = \frac{1{,}73}{0{,}08} = 21{,}63 \text{ м/с.}$$

$$\Delta p_{сух} = \frac{1{,}82 \cdot 21{,}63^2 \cdot 0{,}7}{2} = 298 \text{ Па.}$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4\sigma}{d_0} \quad (1.35)$$

де σ =58,9 $\cdot$ 10^{-3} Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у верхній частині колони 100,3°С; d_0 = 0,004 м – діаметр отворів тарілки;

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 58{,}9 \cdot 10^{-3}}{0{,}004} = 59 \text{ Па.}$$

Середня мольна маса рідини

$$M_{ср} = x_{ср.в} \cdot M_{в} + (1 - x_{ср.в}) \cdot M_{у} \quad (1.36)$$

де $x_{ср.в}$ – середня концентрація рідини у верхній частині колони.

$$M_{ср} = 0{,}902 \cdot 18 + 0{,}088 \cdot 60 = 21{,}52 \text{ кг/кмоль.}$$

Об'ємна витрата рідини у верхній частині колони

$$V_ж = \frac{G_D \cdot R \cdot M_{ср}}{M_D \cdot \rho_ж} \quad (1.37)$$

де $\rho_ж = 958$ кг/м^3 – щільність рідини у верхній частині колони

$$V_ж = \frac{0{,}17 \cdot 4{,}0 \cdot 21{,}52}{19{,}18 \cdot 958} = 0{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Висота шару над зливною перегородкою за її висотою $h_п = 40$ мм

$$\Delta h = \left(\frac{V_ж}{1{,}85 \cdot П \cdot k} \right)^{2/3} \quad (1.38)$$

де $k = \frac{\rho_{пж}}{\rho_ж}$ - відношення щільності пародидкостного шару (піни) до щільності рідини, прийняте приблизно рівним 0,5.

$$\Delta h = \left(\frac{0{,}8 \cdot 10^{-3}}{1{,}85 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}5} \right)^{2/3} = 0{,}011 \text{ м}.$$

Висота парорідинного шару

$$h_{пж} = h_п + \Delta h = 0{,}04 + 0{,}011 = 0{,}051 \text{ м}$$

Опір пародісткового шару

$$\Delta p_{пж} = 1{,}3 \cdot h_{пж} \cdot k \cdot \rho_ж \cdot g \quad (1.39)$$

де $g = 9{,}81$ м/с^2 – прискорення вільного падіння.

$$\Delta p_{пж} = 1{,}3 \cdot 0{,}051 \cdot 958 \cdot 0{,}5 \cdot 9{,}81 = 312 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони

$$\Delta p_в = 298 + 59 + 312 = 669 \text{ Па}.$$

Нижня частина колони.

Розрахунок гідравлічного опору тарілки проводимо аналогічно.

$$\Delta p_{сух} = \frac{1{,}82 \cdot 21{,}88^2 \cdot 1{,}13}{2} = 492 \text{ Па};$$

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 14{,}6 \cdot 10^{-3}}{0{,}004} = 15 \text{ Па};$$

де $\sigma = 14{,}6 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при 109,2°С.

$$M_{ср} = 0{,}577 \cdot 18 + 0{,}423 \cdot 60 = 35{,}77 \text{ кг/кмоль};$$

$$V_{ж} = \left(\frac{G_D \cdot R}{M_D} + \frac{G_F}{M_F} \right) \cdot \frac{M_{ср}}{\rho_{ж}} \qquad (1.40)$$

$$V_{ж} = \left(\frac{0{,}17 \cdot 4{,}0}{19{,}18} + \frac{0{,}29}{25{,}06} \right) \cdot \frac{35{,}77}{929} = 1{,}79 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\Delta h = \left(\frac{1{,}79 \cdot 10^{-3}}{1{,}85 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}5} \right)^{2/3} = 0{,}018 \text{ м}.$$

$$h_{пж} = 0{,}04 + 0{,}018 = 0{,}058 \text{ м}$$

$$\Delta p_{пж} = 1{,}3 \cdot 0{,}058 \cdot 929 \cdot 0{,}5 \cdot 9{,}81 = 344 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у нижній частині колони:

$$\Delta p_{н} = 492 + 15 + 344 = 851 \text{ Па}.$$

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta p = n_{в} \cdot \Delta p_{в} + n_{н} \cdot \Delta p_{н} = 10 \cdot 669 + 10 \cdot 851 = 15200 \text{Па}.$$

2.5 Тепловий баланс установки

Витрата теплоти, що віддається охолодній воді в дефлегматоре

$$Q_д = G_D \cdot (1+R) \cdot r_D \qquad (1.41)$$

тут

$$r_D = \bar{x}_D \cdot r_в + (1-\bar{x}_D) \cdot r_у \qquad (1.42)$$

$$r_D = 0{,}912 \cdot 2260 + 0{,}088 \cdot 390 = 2095 \text{кДж/кг},$$

де $r_в$ і $r_у$ – питомі теплоти конденсації води та оцтової кислоти при 100,3°С.

$$Q_д = 0{,}17 \cdot (1+4{,}0) \cdot 2095 = 1781 \text{кВт}$$

Витрата теплоти, що отримується в кубі-випарнику від гріючої пари

$$Q_к = Q_д + G_D \cdot C_D \cdot t_D + G_W \cdot C_W \cdot t_W - G_F \cdot C_F \cdot t_F + Q_{пот} \qquad (1.43)$$

Тут теплові втрати $Q_{пот}$ прийняті в розмірі 3% від теплоти, що корисно витрачається; питомі теплоємності взяті відповідно при t_D = 100,3°С, t_W = 109,2°С і t_F = 105,8°С; температура кипіння визначена за таблицею 1.

$$Q_к = 1{,}03 \cdot (1781 + 0{,}17 \cdot 4{,}19 \cdot 100{,}3 + 0{,}12 \cdot 3{,}302 \cdot 109{,}2 - 0{,}29 \cdot 2{,}455 \cdot 105{,}8) = 1875$$

кВт.

Витрата теплоти в паровому підігрівачі вихідної суміші:

$$Q = 1{,}05 \cdot G_F \cdot C_F \cdot (t_F - t_H) \qquad (1.44)$$

Тут теплові втрати прийняті у розмірі 5%, питома теплоємність вихідної суміші

$$C_F = \bar{x}_F \cdot C_в + (1-\bar{x}_F) \cdot C_у \qquad (1.45)$$

$$C_F = 0{,}6 \cdot 4{,}19 + 0{,}4 \cdot 2{,}208 = 3{,}39 \text{ кДж/кг·К}$$

взята за середньої температури

$$t_{ср} = \frac{t_F + t_H}{2} = \frac{105{,}8 + 20}{2} = 63\,°C.$$

$$Q = 1{,}05 \cdot 0{,}29 \cdot 3{,}39 \cdot (105{,}8 - 20) = 89 \text{ кВт}.$$

Витрата теплоти, що віддається охолодній воді у водяному холодильнику дистиляту

$$Q = G_D \cdot C_D \cdot (t_D - t_K) \qquad (1.46)$$

де питома теплоємність дистиляту C_D = 4,19 кДж/кг·К взята за середньої температури

$$t_{ср} = \frac{100{,}3 + 25}{2} = 63\,°C.$$

$$Q = 0{,}17 \cdot 4{,}19 \cdot (100{,}3 - 25) = 54 \text{кВт}.$$

Витрата теплоти, що віддається охолодній воді у водяному холодильнику кубового залишку:

$$Q = G_W \cdot C_W \cdot (t_W - t_K) \qquad (1.47)$$

де питома теплоємність кубового залишку C_W = 1,89 кДж/кг·К взята за середньої температури

$$t_{ср} = \frac{109{,}2 + 25}{2} = 67\,°C.$$

$$Q = 0{,}12 \cdot 1{,}89 \cdot (109{,}2 - 25) = 190 \text{кВт}.$$

Витрата пари, що гріє, має тиск $p_{абс}$ = 4 ат та вологість 5%:

а) у кубі-випарнику

$$G_{ГП} = \frac{Q_K}{r_{ГП} \cdot x} \qquad (1.48)$$

де $r_{гп}$ = 2141 кДж/кг – питома теплота конденсації пари, що гріє;

$$G_{ГП} = \frac{1875}{2141 \cdot 0{,}95} = 0{,}92\,кг/с,$$

б) у підігрівачі вихідної суміші

$$G_{ГП} = \frac{Q}{r_{ГП} \cdot x} \qquad (1.49)$$

$$G_{ГП} = \frac{89}{2141 \cdot 0{,}95} = 0{,}04\,кг/с.$$

Всього

$$G_{ГП} = 0{,}92 + 0{,}04 = 0{,}96\,кг/с.$$

Витрата охолодної води при нагріванні її на $\Delta t = 20\,°C$:

а) в дефлегматорі

$$V_В = \frac{Q_д}{c_в \cdot \Delta t \cdot \rho_в} \qquad (1.50)$$

$$V_В = \frac{1781}{4{,}19 \cdot 20 \cdot 1000} = 21{,}25 \cdot 10^{-3}\,м^3/с;$$

б) у водяному холодильнику дистиляти

$$V_В = \frac{Q}{c_в \cdot \Delta t \cdot \rho_в} \qquad (1.51)$$

$$V_В = \frac{54}{4{,}19 \cdot 20 \cdot 1000} = 0{,}64 \cdot 10^{-3}\,м^3/с;$$

в) у водяному холодильнику кубового залишку

$$V_В = \frac{190}{4{,}19 \cdot 20 \cdot 1000} = 2{,}27 \cdot 10^{-3}\ м^3/с.$$

Всього

$$V_В = (21{,}25 + 0{,}64 + 2{,}27) \cdot 10^{-3} = 24{,}16 \cdot 10^{-3}\,м^3/с.$$

2.6 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок холодильника для кубового решти.

Теплове навантаження апарату Q = 190 кВт, витрата води, що охолоджує

$$V_в = 2{,}27 \cdot 10^{-3}\ м^3/с.$$

Витрати води

$$G = V_в \cdot \rho \qquad (1.52)$$

$$G = 2{,}27 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 2{,}27\ кг/с.$$

Середньо логарифмічна різниця температур

$$\Delta t_{ср} = \frac{(109{,}2 - 30) - (25 - 10)}{\ln \frac{79{,}2}{15}} = 38{,}6 К.$$

Мінімальне орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі, що відповідає ламінарному перебігу теплоносіїв (4, табл. II.1)

$$K_{ор} = 450\ Вт/м^2 \cdot К.$$

При цьому орієнтовне значення поверхні теплообміну становитиме

$$F_{ор} = \frac{Q}{\Delta t \cdot K_{ор}} \qquad (1.53)$$

де Q – витрати теплоти в холодильнику кубового залишку, Вт;

$$F_{ор} = \frac{190 \cdot 10^3}{38{,}6 \cdot 450} = 10{,}9\ м^2.$$

З табл. II.3[4] найближче підходить холодильник, що має параметри: діаметр кожуха D = 273 мм, діаметр труб $d_н$ = 20х2 мм, число ходів z = 1, загальна кількість труб n = 61 шт., довжина труб l = 3,0 м, площа теплообміну F = 11,5 $м^2$, площа вузького перерізу міжтрубного простору $f_{мтр}$ = 0,007 $м^2$, площа перетину одного ходу трубами $f_{тр}$ = 0,012 $м^2$.

Далі проводимо уточнений розрахунок.

Значення критерію Re

$$\mathrm{Re} = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot d \cdot \left(\frac{n}{z}\right) \cdot \mu} \qquad (1.54)$$

де μ – в'язкість охолодної води, Па·с;

$$\mathrm{Re} = \frac{4 \cdot 2{,}27}{3{,}14 \cdot 0{,}016 \cdot \left(\frac{61}{1}\right) \cdot 0{,}656 \cdot 10^{-3}} = 4516.$$

Значення критерію Pr

$$\mathrm{Pr} = \frac{c \cdot \mu}{\lambda} \qquad (1.55)$$

де λ – теплопровідність охолодної води, Вт/м·К;

$$\mathrm{Pr} = \frac{4190 \cdot 0{,}656 \cdot 10^{-3}}{0{,}662} = 4{,}15.$$

Коефіцієнт тепловіддачі рідини, що рухається трубами

$$\alpha_1 = \frac{0{,}662}{0{,}016} \cdot 0{,}023 \cdot 4516^{0{,}8} \cdot 4{,}15^{0{,}4} = 1411 \ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Для міжтрубного простору

$$\mathrm{Re} = \frac{4 \cdot 0{,}12}{0{,}007 \cdot 0{,}41 \cdot 10^{-3}} = 167247.$$

$$\mathrm{Pr} = \frac{4190 \cdot 0{,}41 \cdot 10^{-3}}{0{,}124} = 13{,}85.$$

Коефіцієнт теплопередачі до кислоти становитиме

$$\alpha_2 = \frac{0{,}124}{0{,}02} \cdot 0{,}023 \cdot 167247^{0{,}8} \cdot 13{,}85^{0{,}36} = 3644 \text{Вт/м}^2\text{·К}.$$

Оскільки кубовий залишок – органічна рідина, відповідно до табл. II.2 [4] приймемо термічні опори забруднень рівними

$$r_1 = r_2 = \frac{1}{5800}\ м^2 \cdot К/Вт.$$

Теплопровідність нержавіючої сталі $\lambda_{ст} = 17,5$ Вт/м·К.

Сума термічних опорів стінки та забруднень дорівнює

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,002}{17,5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} = 4,58 \cdot 10^{-4}\ м^2 \cdot К/Вт.$$

Коефіцієнт теплопровідності дорівнює

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1411} + \frac{1}{3644} + 4,58 \cdot 10^{-4}} = 694 Вт/м^2 \cdot К.$$

Потрібна поверхня становить

$$F = \frac{190 \cdot 10^3}{694 \cdot 38,6} = 7,1 м^2,$$

що задовольняє обраному значенню $F = 11,5\ м^2$.

Далі зробимо вибір кожухотрубного (горизонтального) дефлегматора за спрощеною схемою.

У дефлегматорі конденсується 0,17 кг/с парової суміші за рахунок охолодження води на 20°С. Умовно вважаємо, що вода нагрівається в дефлегматорі від 18 до 38 °С.

Температурні умови процесу

$$100,3 \rightarrow 100,3$$

$$\underline{18} \leftarrow \underline{38}$$

$$\Delta t_б = 82,3 \quad \Delta t_м = 62,3$$

т. к. $\frac{\Delta t_б}{\Delta t_м} < 2$, маємо

$$\Delta t_{ср} = \frac{82,3 + 62,3}{2} = 72,3\,°C.$$

З таблиці (3, 4.8) орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі від пари органічних речовин, що конденсується, до води

$$К_{ор} = 550\ Вт/м^2 \cdot К.$$

Теплове навантаження з теплового балансу колони

$$Q = 1781\ кВт.$$

Орієнтовне значення площі теплообміну

$$F_{ор} = \frac{Q}{K_{ор} \cdot \Delta t_{ср}} \qquad (1.56)$$

$$F_{ор} = \frac{1781 \cdot 10^3}{550 \cdot 72,3} = 44,8 м^2.$$

Вибираємо стандартний конденсатор, що має параметри: діаметр кожуха D=400 мм, довжина труб L=6 м, площа теплообміну F=46 м^2, кількість труб n=166, діаметр труб 20х2 мм.

Потім робимо вибір кожухотрубного підігрівача вихідної суміші за спрощеною схемою.

Продуктивність підігрівача вихідної суміші G_f = 0,29 кг/с. З теплового балансу теплове навантаження апарату Q = 89 кВт.

Температурні умови процесу при тиску пари, що гріє p = 4 ата

$$143 \rightarrow 143$$

$$105,8 \leftarrow 20$$

$$\Delta t_м = 37,2\ К \qquad \Delta t_б = 123\ К$$

Тоді

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \frac{\Delta t_б}{\Delta t_м}} = \frac{123 - 37,2}{\ln \frac{123}{37,2}} = 70,4 К.$$

З таблиці (3, 4.8) орієнтовні значення коефіцієнта теплопередачі від пари, що конденсує, до органічних рідин К = 200 Вт/м^2*К.

Орієнтовне значення поверхні теплообміну

$$F_{ор} = \frac{89 \cdot 10^3}{200 \cdot 70,4} = 6,3 м^2.$$

Вибираємо стандартний теплообмінник, який має такі параметри:
діаметр кожуха D = 273 мм;
довжина труб l = 2,0 м;
площа теплообмінника F = 7,5м^2;
кількість труб n = 61;
діаметр труб d = 29х2 мм.

3 Розрахунок апарату на міцність та герметичність

3.1 Розрахунок товщини стінки корпусу

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних швів φ = 0,9 (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі 12Х18Н10Т при t = 109°С

$$\sigma = 150 \text{ МПа}.$$

Для листового матеріалу допустима напруга

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

Так як апарат працює при атмосферному тиску, то розрахунок товщини стінки здійснюємо тиск гідравлічних випробувань.

Пробний тиск під час гідравлічних випробувань

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

де [σ] – допустима напруга гідравлічних випробувань; р - тиск в апараті.

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

Тоді

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

Тиск в апараті від гідростатичного тиску

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

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

$$p_{г} = 11{,}8 \cdot 1000 \cdot 9{,}81 = 204 \cdot 10^{3} \text{ Па} = 0{,}2 \text{ МПа}.$$

Розрахунковий тиск в апараті

$$p = p_{п} + p_{г} = 0{,}18 + 0{,}2 = 0{,}38 \text{ МПа}.$$

Розрахункова товщина стінки

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

де D – діаметр апарату, м.

$$s_p = \frac{0{,}38 \cdot 1000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 218 - 0{,}38} = 1{,}0 \text{ мм}$$

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

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

Виконавча товщина стінки

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

$$s = 1{,}0 + 0{,}3 = 1{,}3 \text{ мм}.$$

З урахуванням напруг стиснення від маси колони приймаємо товщину стінки,

а також рекомендації щодо товщини стінки залежно від діаметра колони [с.113, 4]

$$s = 6 \text{ мм}.$$

3.2 Розрахунок товщини стінки кришки

Днище корпусу виготовлено зі сталі 20. Беремо стандартне еліптичне днище по ГОСТ 6533-78. Конструкція еліптичного днища представлена на рис.2.

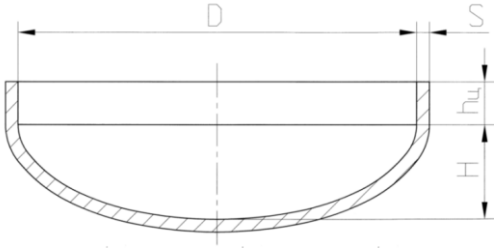

Рисунок 2 - Конструкція еліптичного днища (кришки).

Розрахункова товщина стінки кришки під час проведення гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_п \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma_п] - 0{,}5 p_п} \qquad (3.5)$$

$$s_p = \frac{0{,}38 \cdot 1000}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 218 - 0{,}5 \cdot 0{,}38} = 3{,}1 \text{ мм}$$

Виконавча товщина

$$s = 1{,}0 + 0{,}3 = 1{,}3 \text{ мм.}$$

Приймаємо s = 6 мм.

3.3 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки та корпусу апарату при $D_{вн}$ = 1000 мм і p = 0,38 МПа вибирається за ОСТ 26-426-79 з плоскими приварними фланцями та поверхнею ущільнювача типу «шип – паз».

Товщина втулки фланця [6]

$$s_0 \le 1{,}35 \cdot s,$$

де s = 8 мм – товщина обичайки апарату.

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

приймаємо s_0 = 8 мм.

Перевіряємо виконання умови

$$s_0 - s \le 5$$

$$8 - 6 = 2 \le 5 \text{ – умови виконуються.}$$

Визначимо діаметр болтового кола. З [6] с.263

$$D_б = D_{вн} + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_б + u), \qquad (3.6)$$

де $d_б$ = 20 мм – діаметр болтів при $D_{вн}$ = 1000 мм і p = 0,38 МПа (табл. 1.40 [6]); u = 6 мм – нормативний зазор між гайкою та втулкою (u = 4 ÷ 6, табл.9 [8]).

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

приймаємо $D_б$ = 1,09 м. (см. с.263 [8]).

По [6] с.264 зовнішній діаметр фланця

$$D_ф \geq D_б + a,$$

де a = 40 мм (табл.13.27 [8])

$$D_ф = 1{,}09 + 0{,}04 = 1{,}13 \text{м},$$

приймаємо $D_ф$ = 1,13 м (с.264 [6]).

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [8]

$$D_п \geq D_б - e,$$

де e = 30 мм (табл.13,27 [8]);

$$D_п = 1{,}09 - 0{,}03 = 1{,}06 \text{ м}.$$

приймаємо $D_п$ = 1,07 м

Середній діаметр прокладки [8]

$$D_{ср.п} \geq D_п - b_п,$$

де $b_п$ = 20 мм – ширина прокладки (табл.1.42 [6]);

$$D_{ср.п} = 1{,}06 - 0{,}02 = 1{,}04 \text{м}.$$

Еквівалентна ширина прокладки

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

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

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

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

$$Z_б = \frac{\pi \cdot D_б}{t_б}, \qquad (3.7)$$

де $t_б$ – крок болтів, $t_б = (4{,}2 \div 5) \cdot d_б = 5{,}0 \cdot 20 = 100$ мм (табл.13.20 [8])

$$Z_б = \frac{3{,}14 \cdot 1{,}09}{0{,}1} = 35.$$

Приймаємо найближче кратне чотири значення $Z_б = 36$.

Висота фланця визначається за формулою

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

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

$$s_e = æ \cdot s_0,$$

де $æ = 1{,}0$ – 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

$$l_б = l_{бо} + 0{,}28 \cdot d_б;$$

$$l_{бо} = 2 \cdot (h_{ср} + s_п);$$

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

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

приймаємо $l_б$ = 140 мм.

Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання

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

де p_R = 0,38 МПа – внутрішній тиск в апараті; $D_{ср.п}$ = 1,04 м – середній діаметр прокладки

$$Q_д = \frac{0{,}38 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}04^2}{4} = 0{,}17 МН.$$

Реакція прокладання за робочих умов [6]

$$R_п = \pi \cdot D_{ср} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R, \qquad (3.10)$$

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

$$R_п = 3{,}14 \cdot 1{,}04 \cdot 0{,}00268 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}32 = 0{,}007 МН.$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_б \cdot f_б \cdot E_б \cdot (\alpha_{ср} \cdot t_{ср} - \alpha_б \cdot t_б), \qquad (3.11)$$

де $\alpha_{ср}$ = 12,5 · 10^{-6} 1/ºС – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця; $\alpha_б$ = 12,5 · 10^{-6} 1/ºС – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болтів; $t_б$ = 0,96 · $t_р$ = 0,96 · 117 = 112ºС – розрахункова температура неізольованих

болтів; γ – безрозмірний коефіцієнт; $Z_б$ – кількість болтів; $f_б = 2{,}35 \cdot 10^{-4}$ м^2 – розрахункова площа поперечного перерізу болта за зовнішнім діаметром; $E_б = 1{,}91 \cdot 10^5$ МПа – модуль поздовжньої пружності сталі 20к при $t_б = 117$ºС.

$$\gamma = A \cdot У_б, \tag{3.12}$$

де $У_б$ – лінійна податливість болта.

$$У_б = \frac{l_б}{E_б \cdot f_б \cdot Z_б} \tag{3.13}$$

$$У_б = \frac{0{,}14}{1{,}91 \cdot 10^5 \cdot 2{,}35 \cdot 10^{-4} \cdot 36} = 7{,}8 \cdot 10^{-5}\ \text{м/МН};$$

$$A = [У_п + У_б + 0{,}25 \cdot (У_{ф1} + У_{ф2}) \cdot (D_б - D_{ср.п})]^{-1}, \tag{3.14}$$

де $У_п$ – лінійна податливість прокладання; $У_{ср} = У_{ф1} = У_{ф2}$ – кутова податливість фланця;

$$У_п = \frac{s_п}{\pi \cdot D_{ср.п} \cdot b_п \cdot E_п} \tag{3.15}$$

$$У_п = \frac{0{,}002}{3{,}14 \cdot 1{,}04 \cdot 0{,}02 \cdot 2000} = 15{,}2 \cdot 10^{-6}\ \text{м/МН};$$

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

де ω – безрозмірний параметр; ψ_2 – коефіцієнт, що визначається по рис.13.17 [7].

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

де ψ_1, j – коефіцієнти

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

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

$$K = \frac{1{,}04}{1{,}0} = 1{,}04;$$

$$\psi_1 = 1{,}28 \cdot \lg 1{,}04 = 6{,}6 \cdot 10^{-2},$$

$$\psi_2 = \frac{k+1}{k-1} = \frac{1{,}04+1}{1{,}04-1} = 14{,}3;$$

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

Тоді

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

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

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

отже

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

зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = 0{,}146 \cdot 36 \cdot 2{,}35 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}91 \cdot 10^5 \cdot (12{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 112 - 12{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 111) = 0{,}0033 \text{МН}.$$

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_ж = \frac{У_б + 0{,}5У_{ср}(D_б - D - s_o)\cdot(D_б - D_{ср.п})}{У_п + У_б + У_ф(D_б - D_{ср.п})^2} \qquad (3.18)$$

$$k_ж = \frac{7{,}8\cdot10^{-5} + 0{,}353\cdot0{,}9\cdot10^{-5}\cdot(1{,}09-1{,}0-0{,}008)\cdot(1{,}09-1{,}04)}{15{,}2\cdot10^{-6} + 7{,}8\cdot10^{-5} + 0{,}353\cdot(1{,}09-1{,}04)^2} = 0{,}91.$$

Визначимо болтове навантаження. Умови монтажу [6]

$$p_{б1} = \max\begin{Bmatrix} k_ж\cdot Q_д + R_п \\ 0{,}5\cdot\pi\cdot D_{ср.п}\cdot b_п\cdot p_{пр} \end{Bmatrix}, \qquad (3.19)$$

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

$$p_{б1} = \max\begin{Bmatrix} 0{,}91\cdot0{,}277 + 0{,}007 \\ 0{,}5\cdot3{,}14\cdot1{,}04\cdot0{,}02\cdot20 \end{Bmatrix} = \max\begin{Bmatrix} 0{,}26 \\ 0{,}66 \end{Bmatrix} = 0{,}66\,МН.$$

За робочих умов [6]

$$p_{б2} = p_{б1} + (1 - k_ж)\cdot Q_д + Q_t \qquad (3.20)$$

$$p_{б2} = 0{,}66 + (1-0{,}91)\cdot0{,}277 + 0{,}0033 = 0{,}69\,МН.$$

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

$$\frac{p_{б1}}{Z_б\cdot f_б} \le [\sigma_б]^{20}, \qquad (3.21)$$

$$\frac{p_{б2}}{Z_б\cdot f_б} \le [\sigma_б]^{t}, \qquad (3.22)$$

де $[\sigma_б]^{20}$ = 200 МПа – для матеріалу болтів при температурі 20ºС; $[\sigma_б]$ = 138 МПа – для матеріалу болтів при температурі 117ºС.

$$\frac{0,66}{36\cdot 2,35\cdot 10^{-4}} \le 200 = 70,2 \le 200 - \text{умови виконуються;}$$

$$\frac{0,69}{36\cdot 2,35\cdot 10^{-4}} \le 138 = 73,4 \le 138 - \text{умови виконуються.}$$

Визначимо наведений згинальний момент за формулою 1.145 [6]

$$M_0 = \max\begin{Bmatrix} 0,5\cdot(D_б - D_{ср.п})\cdot p_{б1} \\ 0,5\cdot(D_б - D_{ср.п})\cdot p_{б2} \end{Bmatrix} \qquad (3.23)$$

$$M_0 = \begin{Bmatrix} 0,5\cdot(1,09-1,04)\cdot 0,66 \\ 0,5\cdot(1,09-1,04)\cdot 0,69 \end{Bmatrix} = \max\begin{Bmatrix} 0,017 \\ 0,018 \end{Bmatrix} = 0,018\,\text{МН·м.}$$

За формулою 1.141 [6] для прокладки з пароніту

$$\frac{p_{бmax}}{\pi\cdot D_{ср.п}\cdot b} \le p_{п.р} \qquad (3.24)$$

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

$$p_{б\,max} = \max\{p_{б1}; p_{б2}\} \qquad (3.25)$$

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

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

умова міцності виконується.

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

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

де σ_0 – максимальна напруга в перерізі, обмеженому розміром s_0, визначається за формулою 1.148 [6]; φ = 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]

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

$$\sigma_m = \frac{0{,}38 \cdot 1{,}0}{4 \cdot (0{,}008 - 0{,}0003)} = 11 МПа;$$

за формулою 1.149 [6]

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

$$\sigma_t = \frac{0{,}38 \cdot 1{,}0}{2 \cdot (0{,}008 - 0{,}0003)} = 22 МПа;$$

за формулами 1.143 і 1.148 [6]

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{ср} \cdot M_0 \cdot \nu}{D^* \cdot (s_0 - c)^2}, \tag{3.29}$$

де ψ_3 = 1– для плоских приварних фланців; $T_{ср}$ – безрозмірний коефіцієнт;
за формулою 1.144 [1]

$$T_{ср} = \frac{D_п^2 \cdot \left(1 + 8{,}55 \cdot \lg \frac{D_п}{D_{вп}}\right) - D_{вп}^2}{(1{,}05 \cdot D_{вп}^2 + 1{,}945 \cdot D_n^2) \cdot \left(\frac{D_n}{D_{вп}} - 1\right)} \tag{3.30}$$

де $D_н = 1,07$ м – зовнішній діаметр прокладки;

$$T_{ср} = \frac{1,06^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,06}{1,0}\right) - 1,0^2}{(1,05 \cdot 1,0^2 + 1,945 \cdot 1,06^2) \cdot \left(\frac{1,06}{1,0} - 1\right)} = 1,7,$$

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

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

Умова міцності

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

252 < 542 – умова міцності виконана.
Окружний тиск у кільці фланця

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

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

Визначаємо кут повороту фланця за формулою 1.150 [6]

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D_{вн}}{E \cdot h_{ср}} \le [\Theta], \qquad (3.32)$$

де [Θ] = 0,009 рад – кут повороту фланця, який допускається

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

тобто умова герметичності з'єднання виконується.

3.4 Розрахунок опори

Вибір типу опори залежить від низки умов: місця встановлення апарату, співвідношення висоти та діаметра апарату, його маси тощо. При відношенні H/D ≥ 5 вибрано опору, зображену на кресленні колони. По ОСТ 26-467-78 вибираємо циліндричну опору виконання 1 та проводимо перевірочні розрахунки.

З додатка 2 [4] маса однієї тарілки при D = 1000 мм

$$m_т = 41{,}5 \text{ кг}, \tag{3.33}$$

отже, при числі тарілок n = 20 загальна маса тарілок

$$m_1 = m_т \cdot n \tag{3.34}$$

$$m_1 = 41{,}5 \cdot 20 = 830 \text{ кг}.$$

Маса обичайки колони

$$m_2 = \pi \cdot (D + s) \cdot s \cdot H \cdot \rho \tag{3.35}$$

$$m_2 = 3{,}14 \cdot (1{,}0 + 0{,}006) \cdot 0{,}006 \cdot 11{,}8 \cdot 7850 = 1756 \text{ кг}.$$

Маса оснащення колони приймається у розмірі 20% від маси обичайки

$$m_3 = 0{,}2 \cdot m_2 \tag{3.36}$$

$$m_3 = 0{,}2 \cdot 1756 = 351 \text{кг}.$$

Об'єм колони V = 9,3 м^3, тоді маса води при гідравлічних испытаниях

$$m_4 = V \cdot \rho_в \tag{3.37}$$

$$m_4 = 9{,}3 \cdot 1000 = 9300 \text{ кг}.$$

Наведене навантаження на опору

$$Q = (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \cdot g \qquad (3.38)$$

$$Q = (830 + 1756 + 2351 + 9300) \cdot 9{,}81 = 139{,}6 \cdot 10^3 \text{ Н} = 139{,}6 \text{ кН}.$$

Міцність зварного з'єднання опори з корпусом визначаємо за умовою

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot a_1} \le \varphi_s \cdot [\sigma], \qquad (3.39)$$

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

$$\sigma = \frac{4 \cdot 139{,}6 \cdot 10^{-3}}{3{,}14 \cdot 1000 \cdot 6} = 30 \text{ МПа} \le 0{,}7 \cdot 120 = 84 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності зварного шва виконується.

4 Монтаж і ремонт апарату

4.1 Монтаж колони [12]

Однією з вирішальних умов правильної організації монтажних робіт є комплектна постановка обладнання, що має високу заводську готовність.

Порядок встановлення обладнання визначено «основними технічними вимогами монтажних організацій до хімічного обладнання.» ТУ 26-01-217-89.

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

- в опорній підставі повинні бути передбачені регулювальні гвинти, за допомогою яких обладнання вивіряють на фундаменті у горизонтальній та вертикальній площинах;

- У апаратів колонного типу для їх стропування при монтажі повинні бути передбачені монтажні штуцера ГОСТ 13716-86 або інші захватні пристрої;

- апарати із зовнішніми та внутрішніми теплоізоляційними захисними покриттями повинні поставлятися з привареними деталями для кріплення цих покриттів, а також із підготовленими захисними поверхнями;

- на апаратах і суднах, що підлягають на місці монтажу гідравлічному випробуванню, повинні бути передбачені спеціальні штуцери для установки вентиля (повітряника), через який при заповненні апарату водою буде вироблятися випуск повітря, для приєднання манометра та повного зливу води;

- кожен штуцер на апараті або посудині повинен мати фланець у відповідь, робочу прокладку і кріпильні деталі;

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

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

Складання апаратів, що з окремих царг, що збираються на фланцях здійснюється безпосередньо на фундаменті. В цьому випадку до їх підйому слід перевірити горизонтальність привалювальних поверхонь кожної царги.

Відхилення не повинне перевищувати 0,3 мм на 1 м діаметр апарату, але не більше 2 мм на весь діаметр.

Складання фланцевих з'єднань має виконуватися без підгонних операцій; болти в отвори повинні входити вільно, без напруги. Затягування фланцевих з'єднань необхідно проводити одночасним загортанням гайок на діаметрально розташованих болтах або шпильках.

Остаточне затягування фланцевих з'єднань цар апаратів з прокладками зі шнурового азбесту слід проводити «на гаряче» при нагріванні всього апарату парою до 60°С.

4.2 Проведення ремонтних робіт [13]

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

Підготовка ремонту включає:

1 Технічний огляд обладнання перед ремонтом;

2 Складання проектно-кошторисної документації для робіт, що підлягають виконанню;

3 Оформлення та видачі замовлень на проведення робіт;

4 Розробку графіка для проведення робіт.

Основним видом їхнього зносу колонної масообмінної апаратури є забивання колони відкладеннями та корозії її елементів. Царгові колони розбираються повністю. Вантажопідйомний механізм встановлений вище за колону, що дозволяє зняти всі царги по черзі. При неможливості установки вантажопідйомного механізму вище колони демонтаж починається з нижньої царги згідно зі схемою монтажу.

Підготовка колонного апарату до ремонту наступне: видалення робочого середовища з апарату, після чого проводять його пропарювання водяною парою, яка витісняє пари газів, що залишилися в колоні, після пропарювання колону промивають водою. Промивання колони водою також сприяє швидшому її охолодженню, не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура води промивної перевищує 50°С. Пропарену та промиту колону від'єднують від усіх апаратів та комунікацій глухими заглушками, що

встановлюються у фланцевих з'єднаннях. Установку кожної заглушки та подальше її зняття реєструють у спеціальному журналі.

Ремонт тарілок царгових колон проводиться після їх демонтажу. Тарілки в царгах ущільнюються за допомогою азбесту або шнурового фторопластового ущільнюючого матеріалу, при демонтажі тарілок азбест та ФУМ витягується за допомогою гаків та зубила. Ремонт тарілок пов'язаний з їх чищенням та заміною зношених елементів. Після встановлення тарілок у царгу перевіряється рівномірність пароросподілу, допускається деяка негоризонтальність ковпачкових тарілок, оскільки основний вплив на роботу тарілки надає установка ковпачка.

Досить відповідальна операція при складанні царгової колони є встановлення прокладок між дротяними поверхнями і кріплення царг болтами. Від сталості товщини прокладки по всій площі сполучення та від рівномірності затягування болтів фланцевих з'єднань залежить щільність з'єднань, а також вертикальне положення осі колони та горизонтальне положення тарілок..

Регулювання барботажних тарілок полягає в наступному: тарілку заливають водою так, щоб надмірна кількість води зливалася через зливальний пристрій. Злив по всьому периметру має бути однаковим, тому передбачається можливість його регулювання. Після заповнення гідрозатворів зливні кишені під тарілку, що перевіряється, компресором нагнітають повітря. Регулюючи ковпачки, по висоті досягають однакового ступеня барботажу пухирців повітря через шар води по всій поверхні.

Ремонт колони закінчують її випробуванням. При гідравлічному випробуванні колона заповнюється водою при відкритій повітряні, встановленій у верхній частині колони, поява води в повітрі свідчить про заповнення колони. Після закриття повітря повітря тиск у колоні повільно підвищується до контрольованої величини, при цьому тиск апарат витримується 5 хвилин, потім тиск скидається до робочого значення, при якому приступають до огляду корпусу, одночасно обстукуючи зварні шви молотком масою 0,5-1,5 кг.

5 Охорона праці

5.1 Аналіз потенційних небезпек під час роботи [11]

Для кожного промислового виробництва складається нормативно-технічна документація, у якій вказується:

1) Характеристика властивостей продукту, вихідної сировини та допоміжних матеріалів.

2) Опис технологічного процесу зі схемою виробництва.

3) Норми технологічного режиму із зазначенням гранично допустимих відхилень.

4) Можливі неполадки технологічного процесу, їх причини та способи усунення.

5) Основні правила пуску, безпечного ведення процесу та зупинки обладнання.

6) Аналітичний та автоматичний контроль виробництва.

7) Правила аварійного зупину виробництва.

8) Відходи виробництва, стічні води та викиди в атмосферу: їх склад, способи утилізації чи очищення та порядок скидання.

9) Перелік інструкцій, знання яких обов'язкове для осіб, які ведуть технологічний процес та обслуговують це виробництво.

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 завантажуваної сировини, температур, тиску тощо можуть призвести до аварій.

Для підтримки необхідного технологічного режиму в безперервних сучасних промислових 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 тощо) наносять червону межу, що вказує на гранично допустиме відхилення параметра.

Процес ректифікації відноситься до процесу із значним виділенням тепла. Температура нагрітих поверхонь обладнання та огорож на робочих місцях не повинна перевищувати 45ºС; для обладнання, всередині якого

температура дорівнює або нижче 100ºС, температура поверхні не повинна перевищувати 35ºС.

Обладнання, прилади, трубопроводи та подібні джерела тепла забезпечуються теплоізоляцією.

У зв'язку з виділенням газоподібних речовин, можливе виникнення вибуху. Тому слід встановлювати електродвигуни лише закритого вибухобезпечного типу, а все електротехнічне обладнання (пускові пристрої, світильники та ін.) не повинні іскрити. Маркування вибухозахисного 1ExiIICTБ.

На дільницях технологічного процесу, де виділяється багато вологи, повинні встановлюватися аспірація та місцеві відсмоктувачі.

Протипожежні заходи організуються згідно з СНіП 2.09.02-85, категорія будівлі за СНіП II М-2-72 та ОНТП-24-84 відноситься до категорії «В».

Обладнання та комунікації повинні мати надійне заземлення.

Усі рухомі частини механізмів повинні бути огороджені суцільними або сітчастими огорожами або укладені в кожухи, що унеможливлює захоплення одягу обслуговуючого персоналу.

Прорізи в підлогах, люки та переходи мають бути з огорожами.

Відділення ректифікації є пожежо- та вибухонебезпечним. При вмісті парів кислоти повітря від 5,4 до 24 про. % та при появі іскри можливий вибух з подальшою пожежею. Тому питанню герметичності апаратів, трубопроводів та кислотоприймачів необхідно приділяти виняткову увагу. Пари кислоти також отруйні і викликають отруєння працюючих та опіки на шкірі. Допустима концентрація їх - 20 мг/м^3. З метою зниження концентрації парів кислоти у повітрі відділення обладнується надійною припливно-витяжною вентиляцією через фрамуги у вікнах, витяжних ліхтарях та за допомогою дефлекторів. Для зниження температури повітря робочого місця апаратника встановлюють припливні віконні вентилятори для подачі свіжого повітря.

Для поліпшення повітрообміну в перекриттях відділення влаштовують отвори площею щонайменше 10% площі всього приміщення.

Усі кислотні ємності повинні мати повітряники, сполучені з кислотоловушками.

Відділення повинне мати не менше двох виходів. Електромережа та електроустановки цього відділення повинні відповідати вимогам приміщень особливо небезпечних у пожежо- та вибухонебезпечному відношенні та обладнатися аварійним електроосвітленням. Застосування переносних світильників не дозволяється, крім переносних акумуляторних ліхтарів шахтного типу. При цьому включають світильник поза кислотною ємністю.

Вогневі роботи у відділенні можна проводити після повного звільнення від продуктів та заповнення водою всіх ємностей до переливу через горловини. Усі приміщення та поверхи повинні мати засоби парогасіння із запірним вентилем поза приміщенням, ящики з піском, вогнегасники, кошми та ін. кислотні ємності, мірники та трубопроводи необхідно заземлювати для зняття зарядів статичної електрики. Опір заземлення – не більше 10 Ом.

Необхідні інструменти, ключі кранів, намітки, вікна для наміток повинні бути бронзовими, мідними або омедненими. За крайньої необхідності користування сталевим інструментом його рясно змащують солідолом.

Під час перегонки не допускається порушення встановлених технологічних параметрів: температури, тиску в колонах, швидкості процесу, фортеці та ін.

Необхідно стежити за справністю манометрів (пружинних та водяних), термометрів, редукційного клапана, вакуум-переривників верхніх та нижніх, всіх колон, кислоторегуляторів, паро- і водорегуляторів. Особлива увага звертається на безперебійне постачання ректифікаційного апарату охолодною водою та вихідною сумішшю. Необхідно мати резервні насоси холодної води. Пожежний водогін з гідрантами та викидними рукавами має бути постійно справним.

Відкривати регарди тарілок і люки апарата дозволяється лише після промивання апарату холодною водою, стоячи осторонь і з більшими обережностями. При цьому необхідно підняти клапан кислоторегулятора та закрити доступ пари. Кислотоприймальне відділення необхідно обладнати сигналізацією, що запобігає переповненню ємностей. Вхід стороннім особам до ректифікаційного відділення суворо забороняється.

5.2 Розрахунок запобіжного пристрою у разі різкого підвищення тиску

Якщо запобіжний клапан не може надійно працювати, то в сосудах встановлюють спеціальні запобіжні мембрани, що розриваються при тиску, що на 25% перевищує робоче. Запобіжні мембрани прості за конструкцією і мають високу швидкодію. Мембрани виготовляють із різних матеріалів залежно від специфіки виробництва. Характеристика промислових мембран представлена в табл. 5.1.

Запобіжні мембрани виготовляються на спеціалізованих підприємствах. В окремих випадках мембрани виготовляються на підприємствах для потреб, але при безумовному дотриманні всіх встановлених правил. Кожна партія прокату, що надійшов на підприємство для виготовлення запобіжних мембран, має свій порядковий номер та проходить вхідний контроль із внесенням даних

у спеціальну картку. При вхідному контролі матеріал піддають зовнішньому огляду, вимірюють дійсну товщину металу і експериментально визначають величини pD_0 і pD (pD_0-отвір розривного тиску p на робочий діаметр заготівлі; під робочим діаметром розуміють внутрішній діаметр затискних кілець, на яких проводиться випробування). Експериментальне визначення величин pD_0 полягає в тому, що заготовку, вирізану з даної партії металу, затискають між кільцями з внутрішнім діаметром D_0 і навантажують тиском рідини або газу до руйнування, тиск p фіксують. Величину pD_0 визначають не менше ніж п'ять разів і в картку заносять середню величину.

Таблиця 5.1 Характеристика промислових мембран

Матеріал мембран	Максимальний робочий діаметр, мм	Максимальна робоча температура, °С	pD *, МПа · мм
Алюміній	400	100	10 – 40
	500	100	120 – 160
Нікель	140	480	44 – 400
Нержавсталь	300	300	172
Титан	140	300	48 – 96
	170	300	270 – 320
	300	300	687
Монель – метал	140	450	135 – 400
	200	450	420
Латунь	140	150	24 – 60
	225	150	65 – 230
Бронза	65	150	30,5 – 79
	150	150	128 – 760
Мідь	140	160	22 – 48
	250	160	55 - 500

Для визначення рекомендується застосовувати кільця із внутрішнім діаметром D0= 100 мм; допускаються кільця діаметром $D_0 < 100$ мм (але не менше 20 мм), якщо ширина випробуваного прокату менше 120 мм або діаметр кільця менше 100 мм, або якщо випробовується металева стрічка товщиною більше 0,5 мм. Величину pD_0 визначають за 20±5°С. Величина h/D_0 є відношенням висоти купола мембрани h (мм) перед її руйнуванням до робочого діаметру мембрани. Відношення h/D_0 характеризує пластичність матеріалу. Для визначення величини h заготівлю затискають у кільцях з внутрішнім діаметром D_0 і випробовують під тиском p, що становить 90% середнього розривного тиску. Величину h/D_0 також визначають за 20±5°С.

При виборі матеріалу для запобіжних мембран множать середнє значення розривного тиску PCP на необхідний робочий діаметр (внутрішній діаметр затискних кілець) і знаходять величину PCPD. Потім картотекою вибирають необхідний матеріал з найбільш близькою величиною pD_0. Вибраний матеріал піддають статичним випробуванням. Для цього вирубуються 20 заготовок, виготовляють кільця з внутрішнім діаметром $D_1 = pD/D_0$ та проводять випробування всіх 20 заготовок. Заготовки поміщають між кільцями 1 і 2 з внутрішнім діаметром D і навантажують тиском повітря або рідини до розриву. Заготівлі затискають між двома плитами 3 та 4 гідравлічного преса. Стиснене повітря підводять через свердління однієї з плит.

Таким чином, визначається 20 значень розривного тиску. Потім уточнюють середні значення тиску спрацьовування мембран, знаходять середні квадратичні відхилення величини тиску спрацьовування та визначають верхню та нижню межі гарантованого діапазону спрацьовування мембран при їхній робочій температурі. Діапазон можливих змін не повинен виходити за задані межі $p_{макс}$ і $p_{мин}$.

Розривні запобіжні мембрани можуть бути плоскими і попередньо витріщеними, з плоским конічним або лінзовим затискачем. Кожна мембрана повинна мати маркування, яке наносять фарбою на опуклу поверхню або спеціальну бирку, прикріплену до мембрани. При маркуванні вказують номер партії мембран, робочий діаметр, максимальний надлишковий руйнуючий тиск, робочу температуру та матеріал.

Висновки

В даній бакалаврській роботі з виробництва оцтової кислоти були приведені теоретичні основи процесу розділення оцтової кислоти – води ректифікацією, описана конструкція ректифікаційної колони та зроблений підбір матеріалу для виготовлення всіх елементів колони. Приведений опис технологічної схеми виробництва оцтової кислоти, опис самого апарату (колони).

Проведені необхідні технологічні розрахунки за якими було вибрано стандартну ректифікаційну колону.

Зроблені необхідні розрахунки для підтвердження надійності апарата такі як на міцність: розрахунок стінки корпусу апарату; розрахунок стінки кришки; розрахунок фланцевого з’єднання. Виконаний розрахунок і вибір стандартної опори.

Зроблений опис монтажних та ремонтних робіт апарата. Виконаний опис хорони праці де перераховані небезпеки під час роботи обладнання та зроблений розрахунок запобіжного механізму.

Література

1. Плановский А. К, Рамм В. М., Каган С. 3. "Процессы и аппараты химической технологии". М.: Химия, 1972, - 848 с.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г, Носков А. А "Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии". Л.: Химия, 1987,- 576 с.
3. Соколов В. Н. "Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи". Л.: Машиностроение, 1982, - 384 с.
4. Дытнерский Ю. И. "Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию".- М.: Химия, 1983. - 272 с.
5. "Справочная книга для проектирования электрического освещения". Под ред. Кнорринга Г.М. Л.: "Энергия", 1976, - 384 с.
6. Михалев М. Ф., Третьяков Н.П. "Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи". Л.: Машиностроение, 1984, - 301 с.
7. Лащинский А.А., Толщинский А.Р. "Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры. Справочник. ". Л.: Машиностроение, 1970, – 752 с.
8. Плановский А.Н., Николаев П.И. "Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии". М.: Химия, 1972, - 496 с.
9. Голубятников В.А., Шувалов В.В. "Автоматизация производственных процессов в химической промышленности". Москва: Химия, 1985, - 252с.
10. Кошарский Б.Д. "Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие". Л: Машиностроение, 1976, - 488с.
11. Макаров Г.В., Стрельчук Н.А. "Охрана труда в химической промышленности". М.: Химия, 1977, - 568с.
12. Фарамазов С.А. "Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. 2-е изд.". М.: Химия, 1980. – 312 с.
13. Ермаков В.И., Шеин В.С. "Ремонт и монтаж химического оборудования." Л.: Химия, 1981. – 368 с.