

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра хімічної технології високомолекулярних сполук

Кваліфікаційна робота бакалавра

зі спеціальності 7.133 "Галузеве машинобудування"

Тема роботи: Виробництво метанолу. Насадочна ректифікаційна колона для розділу бінарної суміші метанол-вода потужністю по вихідній суміші 16 т/годину.

Виконав:

студент групи ХМ-71ш

Довбиш Артем Юрійович

Залікова книжка

№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник:

Банишевський В.В.

підпис

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Шосткинський інститут

Кафедра «Хімічна технологія високомолекулярних сполук»

Спеціальність 7.133 "Галузеве машинобудування"

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи бакалавра

Студенту _____ Довбишу Артему Юрійовичу _____.

Курс 4

Група ХМ-71ш

Семестр 8

1. Тема роботи: Виробництво метанолу. Насадочна ректифікаційна колона для розділу бінарної суміші метанол-вода потужністю по вихідній суміші 16 т/годину.

2. Вихідні дані:

Склад продукту по легкокиплячому компоненту: у вихідній суміші 34%, у дистиляті 94,5%, у кубовій суміші 4%. Насадка – кільця Рашига 35x35x4 мм.

3. Перелік необхідного графічного матеріалу (аркуші А1):

Технологічна схема _____ 0,5 арк.

Складальне креслення апарату _____ 1,0 арк.

Додаткові види апарату _____ 1,5 арк.

4. Необхідна література:

Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Москва, Химия, 1983, 272 с.

5. Етапи виконання курсового проекту:

Етап та розділ проектування	ТИЖДЕНЬ													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вступ	x													
Технологічна частина		x	x	x	x									
Конструкторські розрахунки та розрахунки на міцність							x	x	x					
Розробка креслень										x	x	x	x	
Оформлення записки														x
Захист проекту														x

6. Дата видання завдання _____ 2021 р.

7. Термін для здачі захисту _____ 2021 р.

Керівник _____ Банишевський В.В. _____.

ЗМІСТ

НАЗВА ЗАГОЛОВКУ	С
РЕФЕРАТ	4
ВВЕДЕННЯ	5
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ	6
1.2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	10
1.3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНОГО АПАРАТУ	12
2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ	16
2.1 МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ	16
2.2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ	18
2.3 КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ	23
2.4 ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР АПАРАТА	31
2.5 ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ	33
3. РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ	37
3.1 РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ СТІНОК ОБИЧАЙКИ КОЛОНИ	37
3.2 РОЗРАХУНОК ГЕРМЕТИЧНОСТІ ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ	40
3.3 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОПОРИ КОЛОНИ	54
4. МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТА	56
4.1 МОНТАЖ АПАРАТА	56
4.2 РЕМОНТ АПАРАТА	57
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	59
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	62

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ХТВМС.В.00.00.00 ПЗ			
Розробив	Довбиш				Кваліфікаційна робота бакалавра. Пояснювальна записка	Лит.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Банишевський						3	63
Реценз.						ШІСумДУ гр. ХМ-71ш		
Н. Контр.								
Затверд.								

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 63 ст., 8 рис., 1 табл., 14 літературних джерел.

Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення складальних елементів апарату - всього 3 аркуші формату А1.

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Виробництво метанолу. Насадочна ректифікаційна колона для розділу бінарної суміші метанол-вода потужністю по вихідній суміші 16 т/годину».

В цій бакалаврській роботі розглянута технологія виробництва метанолу. Основна увага зосереджена на стадії ректифікації бінарної суміші метанол-вода та основному апараті – насадковій ректифікаційній колоні.

Розглянуто теоретичні основи процесу ректифікації. Описано характеристики готового продукту у вигляді метанолу. Розглянута ректифікаційна установка та описано принцип її роботи. Розглянута конструкція насадкових ректифікаційних колон. В рамках літературного огляду були розглянуті види насадок та була обрана насадка у вигляді керамічних кілець Рашига.

Проведено технологічні розрахунки апарату. Розраховано матеріальний баланс та технологічні показники процесу. Побудовано криві рівноваги та діаграма t-x,y для суміші метанол-вода. Розраховано основні геометричні параметри колони. Розраховано гідравлічний опір колони. Підібрано допоміжне обладнання: відцентровий насос для подачі початкової суміші та теплообмінник для кип'ятіння початкової суміші.

Розраховано товщину стінки обичайки колони. Підібрано спідничну стандартну опору. Перевірена герметичність фланцевих з'єднань.

Описано правила монтажу та ремонту насадкової ректифікаційної колони, розглянуто аспекти охорони праці.

Ключові слова: МЕТАНОЛ, ВОДА, РЕКТИФІКАЦІЯ, КІЛЬЦЯ РАШИГА.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Процес перегонки був відомий ще в давнину. Він набув значного розвитку в Середньовіччя, коли навчилися отримувати етиловий спирт з продуктів бродіння крохмалю і цукровмісних матеріалів. Для поділу суміші рідин зазвичай використовують перегонку. Поділ шляхом перегонки заснований на різниці в температурі кипіння окремих речовин, що входять до складу суміші. Так, якщо суміш складається з двох компонентів, то при випаровуванні компонент з більш низькою температурою кипіння (низькокиплячий компонент, скорочено НК) переходить в пари, а компонент з більш високою температурою кипіння (висококиплячий компонент, скорочено ВК) залишається в рідкому стані. Отримані пари конденсуються, утворюючи так званий дистилат. Не пропарена рідина називається залишком. Таким чином, в результаті перегонки НК переходить в дистилат, а ВК в залишок [1].

Для досягнення найбільш повного поділу компонентів застосовують більш складний вид перегонки - ректифікацію. Ректифікація полягає в протivotочній взаємодії парів, що утворюються при перегонці, з рідиною, що виходить при конденсації пари [1].

Уявімо собі апарат, в якому від низу до верху рухаються пари, а зверху (назустріч парам) подається рідина, що є майже чистим НК. При зіткненні піднімаються пари зі стікаючою рідиною відбувається часткова конденсація парів і часткове випаровування рідини. При цьому з парів конденсується переважно ВК, а з рідини випаровується переважно НК. Таким чином, стікаюча рідина збагачується ВК, а піднімаючі пари збагачуються НК, в результаті чого виходять з апарату пари являють собою майже чистий НК. Ці пари надходять в конденсатор (дефлегматор), де і конденсуються. Частина конденсату, що повертається на зрошення апарату, називається флегмою, інша частина - відводиться в якості дистилату [2].

У бакалаврській роботі розглядається технологія виробництва метанолу та основний процес цієї технології – ректифікація в насадковій колонні.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ

Високий ступінь поділу однорідних рідких сумішей на компоненти може бути досягнута шляхом ректифікації. Сутність процесів, з яких складається ректифікація, і одержувані при цьому результати можна простежити за допомогою t - x - y -діаграми (рис.1.1.1) [3].

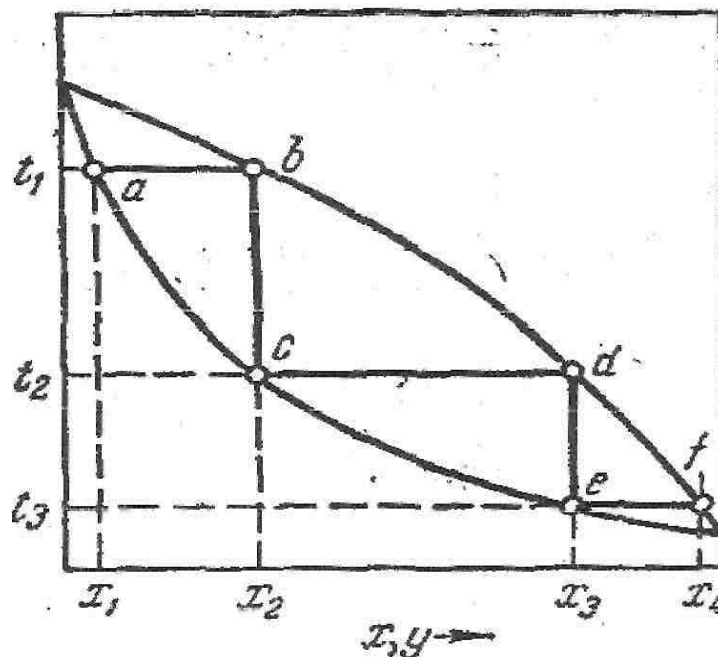


Рис. 1.1.1 - Зображення процесу поділу бінарної суміші шляхом ректифікації на діаграмі t - x - y .

Нагрівання вихідну суміш складу x , до температури кипіння, отримаємо знаходиться в рівновазі з рідиною пар (точка b). Відбір і конденсація цього пара дають рідину, збагачену НК $x_2 > x_1$. Нагрівання цієї рідини до температури кипіння t_2 отримаємо пар (точка d), конденсація якого дає рідину з ще більшим вмістом НК, що має склад x , і т. Д. Проводячи, таким чином, послідовно ряд процесів випаровування рідини і конденсації пари, можна отримати в підсумку рідину (дистилят) [3].

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Аналогічно, виходячи з парової фази, що відповідає складу рідини X_4 , шляхом проведення ряду послідовних процесів конденсації і випаровування можна отримати рідину (залишок), що складається майже цілком з b .

У найпростішому вигляді процес багаторазового випаровування можна здійснити в багатоступінчастій установці, в першій ступені якої випаровується вихідна суміш [3].

На другу ступінь надходить на випаровування рідина, що залишилася після відділення парів у першому ступені, в третьому ступені випаровується рідина, що надійшла з другого ступеня (після відбору з останньої пари), і т. д. Аналогічно може бути організований процес багаторазової конденсації, при якому на кожен наступну сходинку надходять для конденсації пари, що залишилися після відділення від них рідини (конденсату) в попередній щаблі [3].

При досить великому числі ступенів таким шляхом можна отримати рідку або парову фазу з досить високою концентрацією компонента, яким вона збагачена. Однак вихід цієї фази буде малий по відношенню до її кількості в вихідній суміші. Крім того, описані установки відрізняються громіздкістю і великими втратами тепла в навколишнє середовище [3].

Значно більш економічне, повне і чітке розділення сумішей на компоненти досягається в процесах ректифікації, що проводяться зазвичай в більш компактних апаратах - ректифікаційних колонах.

Процес ректифікації здійснюється шляхом багаторазового контакту між нерівноважними рідкою і парової фазами, що рухаються відносно один одного.

Таким чином, відсутність рівноваги (і відповідно наявність різниці температур фаз) при русі фаз з певною відносною швидкістю і багаторазовому їх контактування є необхідними умовами проведення ректифікації.

Гідродинамічні режими. Насадкові абсорбери можуть працювати в різних гідродинамічних режимах. Ці режими видно з графіка (рис. 1.2), що виражає залежність гідравлічного опору зрошуваної насадки від фіктивної швидкості газу в колоні [4].

Перший режим - плівковий - спостерігається при невеликих щільності зрошення і малих швидкостях газу. Обсяги затриманої в насадці рідини при

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цьому режимі практично не залежать від швидкості газу. Плівковий режим закінчується в першій перехідній точці (точка А, рис. 1.2), званій точкою підвисання [4].

Другий режим - режим підвисання. При протivotоці фаз внаслідок збільшення сил тертя газу про рідину на поверхні зіткнення фаз відбувається гальмування рідини газовим потоком. В результаті цього швидкість течії рідини зменшується, а товщина її плівки і кількість утримуваної в насадці рідини збільшуються. У режимі підвисання зі зростанням швидкості газу збільшується змочена поверхня насадки і відповідно інтенсивність процесу масопередачі. Цей режим закінчується в другій перехідній точці (точка В, рис. 2), причому в режимі підвисання спокійний плин плівки порушується: з'являються завихрення, бризки, тобто створюються умови переходу до барботажу. Все це сприяє збільшенню інтенсивності масообміну [4].

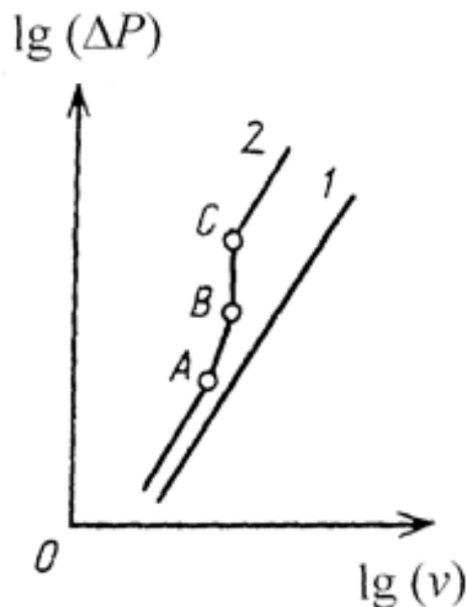


Рис. 1.1.2 - Залежність гідравлічного опору насадки від швидкості газу в колоні
($L = \text{const}$):

1 - суха насадка; 2 - зрошувана насадка.

Третій режим - режим емульгування - виникає в результаті накопичення рідини у вільному об'ємі насадки. Накопичення рідини відбувається до тих пір, поки сила тертя між стікаючою рідиною і піднімаючимся по колоні газом не

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

врівноважить силу тяжіння рідини, що знаходиться в насадці. При цьому настає звернення, або інверсія, фаз (рідина стає суцільною фазою, а газ - дисперсною). Утворюється газорідинна дисперсна система, за зовнішнім виглядом нагадує барботажний шар (піну) або газорідинну емульсію. Режим емульгування починається в найвужчому перерізі насадки, щільність засипки якої, як зазначалося, нерівномірна по перетину колони. Шляхом ретельного регулювання подачі газу режим емульгування може бути встановлений по всій висоті насадки. Гідравлічний опір колони при цьому різко зростає [4].

Режим емульгування відповідає максимальній ефективності насадкових колон, перш за все за рахунок збільшення поверхні контакту фаз, яка в цьому випадку визначається не тільки (і не стільки) геометричній поверхнею насадки, а поверхнею пухирців і струменів газу в рідині, що заповнює весь вільний обсяг насадки. Однак при роботі колони в такому режимі її гідравлічний опір відносно великий [4].

Процеси ректифікації здійснюються періодично або безперервно при різних тисках: при атмосферному тиску, під вакуумом (для поділу сумішей висококиплячих речовин), а також під тиском більше атмосферного (для поділу сумішей, які є газоподібними при нормальних температурах).

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

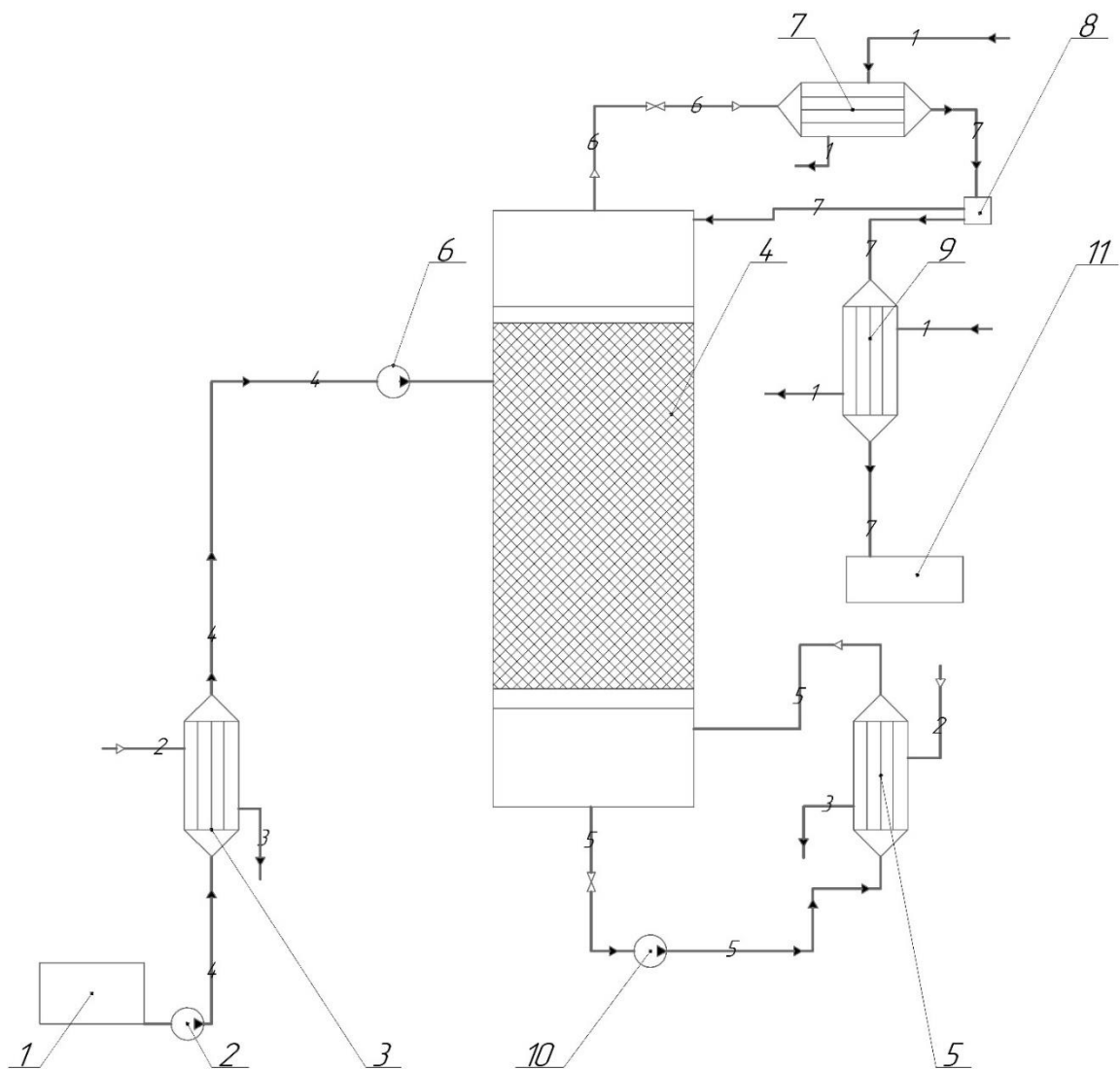
1.2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Існує декілька методів отримання метанолу [5]:

1. суха перегонка деревини і лігніну (більше не використовується);
2. термічний розклад солей мурашиної кислоти,
3. синтез з метану через метилхлорид з подальшим омиленням,
4. неповне окислення метану;
5. отримання з синтез-газу (найбільш популярний метод).

Основою всіх цих методів виробництва метанолу є його подальша ректифікація з метою розділення метанолу і води. Цей процес наведено на рис.

1.2.1.



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ

Арк.

10

Рис. 1.2.1 – Схема ректифікаційної установки

Вихідна суміш з проміжної ємності 1 відцентровим насосом 2 подається в теплообмінник 3, де підігрівається до температури кипіння насиченою водяною парою. Нагріта суміш надходить на поділ в ректифікаційну колону 9 на живильну тарілку, де змішується з флегмою зі зміцнювальної частини колони. Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з паром, що піднімається вгору, яка утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику 11. В результаті цього з рідини видаляється легколетучий компонент. Пар, збагачений низько-киплячим компонентом, піднімається вгору по колоні і надходить в дефлегматор 12. З дефлегматора сконденсована пара надходить в розподільний стакан 8, де конденсат розділяється на два потоки: один (флегма) повертається на зрошення колони, другий (дистилят) надходить в холодильник дистиляту 9 і далі в проміжну ємність 11.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНОГО АПАРАТУ

Об'єкт для розрахунків – насадкова ректифікаційна колона.

Насадкові ректифікаційні колони менш ефективні, в порівнянні з тарілчастими. У разі рівного розподілу робочих обсягів колон, площа поверхні контакту фаз в насадковій колоні буде менше, ніж в тарілчастій. Крім того, нерівномірність стікання рідини по насадці обмежує діаметр насадкових колон (діаметр насадкової колони не перевищує 2,8 м, діаметр тарілчастих колон досягає 4 м). Все це істотно обмежує використання насадкових колон в ректифікації. Однак при невеликій продуктивності насадкові колони є більш актуальними через свою простоту виготовлення і низьку вартість [6].

Рідка фаза, утворена флегмою у верхній частині колони, і спільно вихідною сумішшю і флегмою в нижній частині колони, стікає по насадці, взаємодіючи з рухомою протivotоком паровою фазою. Для збільшення рівномірності зрошення насадки, вона розбита на шари, кожен з яких спирається на свою опорну решітку, що також запобігає руйнуванню елементів насадки під її вагою. Між шарами насадки встановлені перерозподільні тарілки, що забезпечують рівномірність зрошення сегментів насадки. Для доступу до насадки кожен її шар забезпечений завантажувальним і розвантажувальним люком [6].

Основні елементи насадкових колон [6]:

- насадка;
- опорні колосники;
- пристрої для зрошення і розподілу рідини.

За способом розташування насадки по висоті апарату колони підрозділяють на [7]:

- повністю насаджені (рис. 1.3.1а);
- розділені на секції (рис. 1.3.2б);
- частково насаджені (рис. 1.3.3в).

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

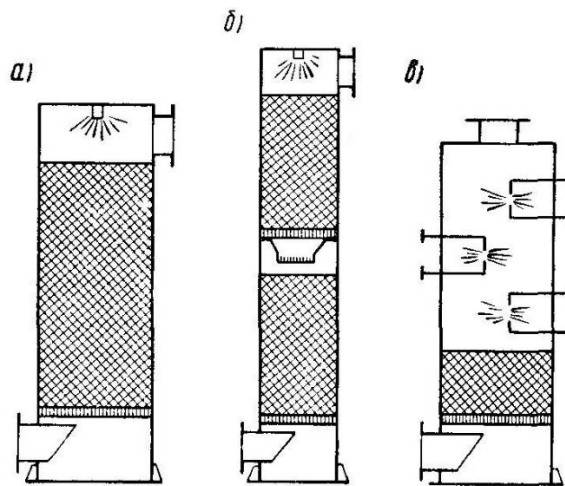


Рис. 1.3.1- Типи насадкових колон

Колони з насадкою, що завантажується навалом, мають зазвичай висоту шару не більше $(6\div 8)\times D$. Там, де необхідна висота шару більш $(6\div 8)\times D$, насадку в апараті розташовують окремими шарами (секціями).

Колони, частково завантажені, мають над шаром насадки значний вільний простір, в якому рідина реагує з газом в розпиленому стані.

До насадки пред'являються наступні основні вимоги [7]:

- велика площа поверхні;
- нечутливість до забруднень і опадів;
- малий гідравлічний опір;
- простота виготовлення;
- низька ціна.

Застосовують насадки двох типів [7]:

- насипні (з окремих елементів);
- хордові (зі смуг, пластин, ґрат).

Насипні насадки. Основні типи насипних насадок [7]:

- кільця Рашига (рис. 1.3.2а);
- кільця Паля (рис. 1.3.2б);
- сідлоподібна насадка (рис. 1.3.2в).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

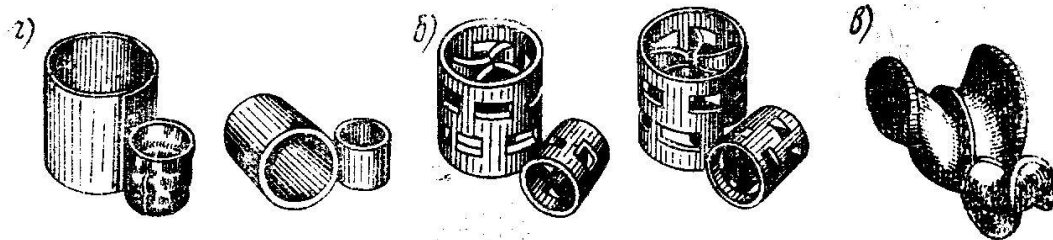


Рис. 1.3.2. – Види насадок

Кільця Рашига діаметром 10-150 мм застосовують часто. Вони прості за конструкцією, дешеві у виготовленні і забезпечують задовільний контакт між рідиною і газом. Кращі за своїми показниками кільця Паля. Вони, на відміну від кілець Рашига, мають язички, відігнуті всередину. Сідлоподібна насадка краща при роботі з продуктами, що забруднюють насадку.

Елементи насадки виготовляють з кераміки, фарфору або тонколистового металу.

Хордові насадки. Насадки хордові роблять з дерев'яних, пластмасових або керамічних брусів, сіток і гофрованих листів [8].

Основні типи хордових насадок [8]:

- плоскопаралельна (рис. 1.3.3а);
- стільниковий (рис. 1.3.3б);
- звивиста (рис. 1.3.3в).

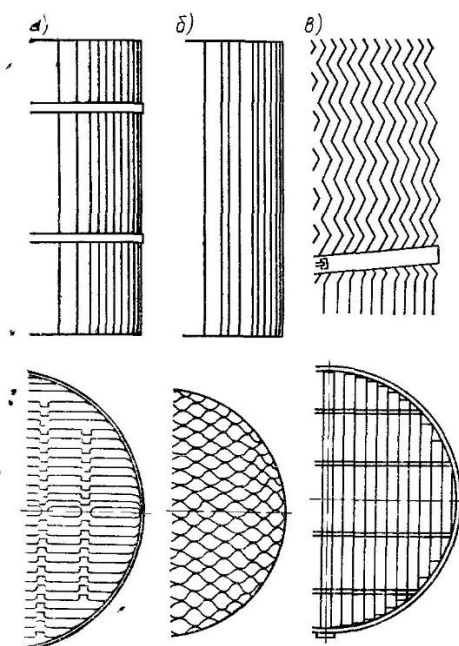


Рис. 1.3.3 – Види хордових насадок

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Вони забезпечують хороший контакт між рідиною і газом і в той же час мають малий гідравлічний опір. Основне застосування хордові насадки знайшли в вакуумних колонах [8].

Отже, приймаємо насадку у вигляді керамічних кілець Рашига габаритами 35x35x4 мм.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ

Початкові дані: вміст легко летучого компонента в початковій суміші $X_F = 34\%$ (мол.), в дистилляті $X_P = 94,5\%$ (мол.), кубовому залишку $X_w = 4\%$ (мол.). Початкова суміш перед подачею в колону підігрівається до температури кипіння. Продуктивність по вихідній суміші – 16 т/годину.

2.1 МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ

Для складання матеріального балансу виразимо концентрації вихідної суміші, дистилляту та кубового залишку в масових долях.

Молекулярна маса суміші:

$$M_{\text{сум}} = M_A \cdot X + M_B \cdot (1 - X) \cdot M_{\text{см}} = M_A \cdot X + M_B \cdot (1 - X) \quad (2.1.1)$$

де $M_A = 32$ кг/моль – молекулярна маса метанолу;

$M_B = 18$ кг/моль – молекулярна маса води, кг/моль;

x – вміст легко-летючого компонента.

Концентрація суміші:

$$\bar{x} = \frac{M_m \cdot x}{M_{\text{сум}}} \quad (2.1.2)$$

де M_A – молекулярна маса метанолу, кг/моль;

$M_{\text{сум}}$ – молекулярна маса вихідної суміші, кг/моль;

x – вміст легко летучого компонента.

Вихідна суміш:

$$M_{\text{сум}} = 32 \cdot 0,34 + 18 \cdot (1 - 0,34) = 22,76 \text{ кг/кмоль}$$

$$\bar{x}_F = \frac{32 \cdot 0,34}{22,76} = 0,48$$

Дистиллят:

$$M_{\text{сум}} = 32 \cdot 0,945 + 18 \cdot (1 - 0,945) = 31,23 \text{ кг/кмоль}$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$\bar{x}_p = \frac{32 \cdot 0,945}{31,23} = 0,968$$

Кубовий залишок:

$$M_{\text{см}} = 32 \cdot 0,04 + 18 \cdot (1 - 0,04) = 18,56 \text{ кг/кмоль}$$

$$\bar{x}_w = \frac{32 \cdot 0,04}{18,56} = 0,07$$

Складання матеріального балансу. Визначення кількості дистиляту та кубового залишку:

$$L_p + L_w = L_f;$$

$$L_p + L_w = 16000;$$

$$L_w = 16000 - L_p$$

$$\bar{x}_p L_p + \bar{x}_w L_w = \bar{x}_F L_f;$$

$$0,968 L_p + 0,07 L_w = 0,48 \cdot 16000;$$

$$0,968 L_p + 0,07 \cdot (16000 - L_p) = 0,48 \cdot 16000;$$

$$0,968 L_p + 1120 - 0,07 L_p = 7680;$$

$$0,898 L_p = 6560$$

$L_p = 7305$ кг/год - продуктивність по дистиляту;

$L_w = 16000 - 7305 = 8695$ кг/год – продуктивність по кубовому залишку.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

2.2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

2.2.1 Побудова кривої рівноваги

Для суміші метанол-вода розрахуємо і побудуємо лінію рівноваги при загальному тиску $P = 760$ мм.рт.ст.

1. Визначаємо температури кипіння метанолу і води:

$$t_{\text{кип.М}} = 64,5^{\circ}\text{C} - \text{низько} - \text{киплячий компонент (НК)};$$

$$t_{\text{кип.В}} = 100^{\circ}\text{C} - \text{высоко} - \text{киплячий компонент (ВК)}.$$

2. Розбиваємо інтервал температур від $64,5^{\circ}\text{C}$ до 100°C на ряд дрібних інтервалів. Необхідно відзначити, що чим менше крок, тим вище точність побудови. Зазвичай рекомендується не менше десяти інтервалів.

x	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y	0	26,8	41,8	57,9	66,5	72,9	77,9	82,5	87,0	91,5	95,8	100
t	100	92,3	87,7	81,7	78,0	75,3	73,1	71,2	69,3	67,6	66,0	64,5

Відносний мольний розхід постачання:

$$F = \frac{X_p - X_w}{X_f - X_w} = \frac{0,945 - 0,04}{0,34 - 0,04} = 3,02 \quad (2.2.1)$$

Мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{X_p - Y_f^*}{Y_f^* - X_f} = \frac{0,945 - 0,69}{0,69 - 0,34} = 0,73 \quad (2.2.2)$$

Робоче флегмове число.

$$R = \beta \cdot R_{\min} \quad (2.2.3)$$

де $\beta = 1,25$ - коефіцієнт надлишку флегми, визначається на підставі досліджених даних, зазвичай $\beta = 1,04 \dots 1,5$;

R_{\min} – мінімальне флегмове число.

$$R = 1,25 \cdot 0,73 = 0,91$$

Рівняння робочої лінії верхньої (укріплювальної) частини колони:

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

$$Y = \frac{Rx}{R+1} + \frac{X_p}{R+1} = \frac{0,91x}{0,91+1} + \frac{0,945}{0,91+1} = 0,48x + 0,49$$

Рівняння робочої лінії нижньої (вичерпної) частини колони:

$$Y = \frac{(R+F) \cdot x}{R+1} - \frac{(F-1) \cdot X_w}{R+1} = \frac{(0,91+3,02) \cdot x}{0,91+1} - \frac{(3,02-1) \cdot 0,04}{0,91+1} = 2,06x - 0,042$$

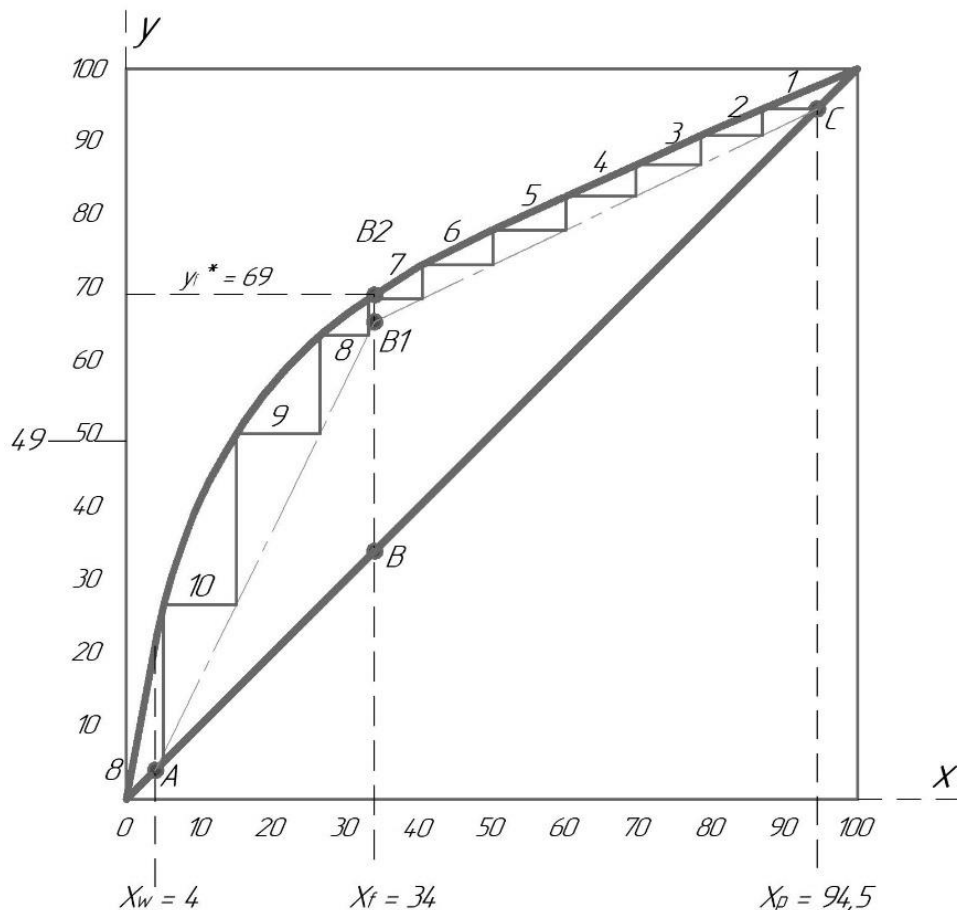


Рис. 2.2.1 – Криві рівноваги для суміші метанол-вода

2.2.2 Визначення середніх характеристик фаз

Середня концентрація метанолу в рідині:

у верхній частині колони

$$X_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{X_f + X_p}{2} = \frac{0,34 + 0,945}{2} = 0,64$$

у нижній частині колони

$$X_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{X_f + X_w}{2} = \frac{0,34 + 0,04}{2} = 0,19$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Середня концентрація метанолу в паровій фазі:

у верхній частині колони

$$y_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,48x + 0,49 = 0,48 \cdot 0,64 + 0,49 = \mathbf{0,797}$$

у нижній частині колони

$$y_{\text{ср}}^{\text{н}} = 2,06x - 0,042 = 2,06 \cdot 0,19 - 0,042 = \mathbf{0,3494}$$

Середні температури пари визначаємо по діаграмі t-x,y.

$$\text{При } y_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,797, \quad t_{\text{ср}}^{\text{в}} = 72,4^{\circ}\text{C}$$

$$\text{При } y_{\text{ср}}^{\text{н}} = 0,3494 \quad t_{\text{ср}}^{\text{н}} = 89,2^{\circ}\text{C}$$

середня температура в колоні:

$$t_{\text{ср}} = \frac{72,4 + 89,2}{2} = 80,8^{\circ}\text{C}$$

Середні мольні маси парової фази:

для верхньої частини колони:

$$M_{\text{ср}}^{\text{в}} = y_{\text{ср}}^{\text{в}} M_{\text{м}} + (1 - y_{\text{ср}}^{\text{в}}) \cdot M_{\text{в}} = 0,797 \cdot 32 + (1 - 0,797) \cdot 18 = 29,16 \text{ кг/кмоль}$$

для нижньої частини колони:

$$M_{\text{ср}}^{\text{н}} = y_{\text{ср}}^{\text{н}} M_{\text{м}} + (1 - y_{\text{ср}}^{\text{н}}) \cdot M_{\text{в}} = 0,3494 \cdot 32 + (1 - 0,3494) \cdot 18 = 22,9 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини пари:

для верхньої частини колони:

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{M_{\text{ср}}^{\text{в}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T} = \frac{29,16 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 72,4)} = 1,03 \text{ кг/м}^3$$

для нижньої частини колони:

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{M_{\text{ср}}^{\text{н}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T} = \frac{22,9 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 89,2)} = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

середня густина пару по колоні

$$\rho_{\text{ср}} = 0,9 \text{ кг/м}^3$$

Температура рідкої фази:

на виході з колони при $x_{\text{р}} = 0,945$;

$$t_{\text{р}} = 57,2^{\circ}\text{C}$$

у кубі випарника при $x_{\text{в}} = 0,04$;

$$t_{\text{р}} = 89,8^{\circ}\text{C}$$

середня температура в колоні

$$t_{\text{ср}} = 73,5^{\circ}\text{C}$$

Середня густина рідкої фази:

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

густина рідкого метанолу при $t = 57,2^{\circ}\text{C};$ $\rho_{\text{м}} = 756,2 \text{ кг/м}^3$
 густина води при $t = 89,8^{\circ}\text{C};$ $\rho_{\text{в}} = 970 \text{ кг/м}^3$
 середня густина рідкої фази у колоні $\rho_{\text{ср}} = 863,1 \text{ кг/м}^3$

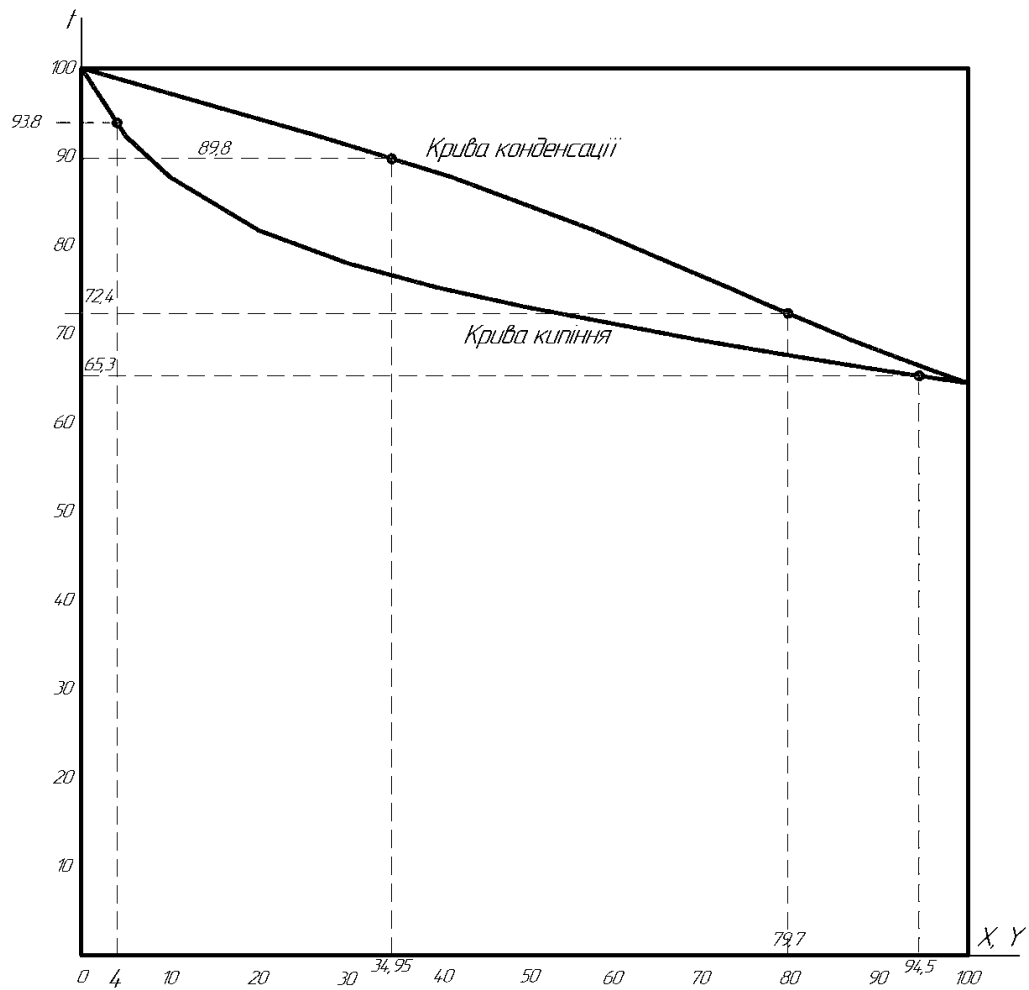


Рис. 2.2.2 – Діаграма t-x,y суміші метанол-вода

Середня температура в колоні:

У верхній частині при $y_{\text{ср.в}} = 0,797 \rightarrow t_{\text{ср}}^{\text{в}} = 72,4^{\circ}\text{C}$

У нижній частині при $y_{\text{ср.н}} = 0,3494 \rightarrow t_{\text{ср}}^{\text{н}} = 89,2^{\circ}\text{C}$

Визначимо середню густина пари у нижній і верхній частині колони:

$$\rho_{\text{п.в}} = \frac{M_{\text{ср}}^{\text{в}}}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{ср}}^{\text{в}}} \quad (2.2.4)$$

де $M_{\text{ср}}^{\text{в}}$ – середня мольна маса парової фази для верхньої частини колони, кг/моль;

$t_{\text{ср}}^{\text{в}}$ – середня температура у верхній частині колони, °С;

$T_0 = 273 \text{ К}$ – температура нормальних умов.

$$\rho_{\text{п.в}} = \frac{29,16}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 72,4} = 1,03 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{п.н}} = \frac{M_{\text{ср}}^{\text{н}}}{22,4} \cdot \frac{T_0}{T_0 + t_{\text{ср}}^{\text{н}}} \quad (2.2.5)$$

де $M_{\text{ср}}^{\text{н}}$ – середня мольна маса парової фази для нижньої частини колони, кг/моль;

$t_{\text{ср}}^{\text{н}}$ – середня температура у нижній частині колони, °С;

$T_0 = 273 \text{ К}$ – температура нормальних умов.

$$\rho_{\text{п.н}} = \frac{22,9}{22,4} \cdot \frac{273}{273 + 89,2} = 0,77 \text{ кг/м}^3$$

Середня густина пари в колоні:

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{п}} = \frac{1,03 + 0,77}{2} = 0,9 \text{ кг/м}^3$$

Визначимо густину рідини, що знаходиться в колоні:

У верхній частині при $x_p = 0,945 \rightarrow t_{\text{в}} = 65,3^\circ\text{С} \rightarrow \rho_{\text{м}} = 740 \text{ кг/м}^3$

У нижній частині при $x_w = 0,04 \rightarrow t_{\text{н}} = 93,8^\circ\text{С} \rightarrow \rho_{\text{в}} = 962,6 \text{ кг/м}^3$

Середня густина рідини в колоні:

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{р}} = \frac{740 + 962,6}{2} = 851,3 \text{ кг/м}^3$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2.3 КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ

Граничну фіктивну швидкість пари, при якій відбувається захлинання насадкової колони, визначають за рівнянням:

$$\frac{\omega_n^2 \cdot a \cdot \rho_{\text{ср}}^{\text{п}} \cdot \mu_x^{0,16}}{g \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_x} = 1,2 \cdot \exp \left[-4 \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{ср}}^{\text{п}}}{\rho_{\text{ср}}^{\text{р}}} \right)^{0,125} \right] \quad (2.3.1)$$

де a – питома поверхня, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{ср}}^{\text{п}}$ – середня густина пари в колоні, $\text{кг}/\text{м}^3$;

μ_x – в'язкість рідкої суміші, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

ε – вільний об'єм, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

L – витрата вихідної суміші, $\text{кг}/\text{с}$;

$\rho_{\text{ср}}^{\text{п}}$ – густина пари середня, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{ср}}^{\text{р}}$ – густина рідини середня, $\text{кг}/\text{м}^3$;

G – масова витрата пари:

$$G = L_p \cdot (R + 1) \quad (2.3.2)$$

де L_p – продуктивність по дистилляту, $\text{кг}/\text{год}$;

R – флегмове число.

$$G = 7305 \cdot (0,91 + 1) = 13952,55 \frac{\text{кг}}{\text{год}} \approx 3,88 \text{ кг}/\text{с}$$

Мольна маса дистилляту:

$$M_D = X_p \cdot M_A + (1 - X_p) \cdot M_B \quad (2.3.3)$$

де M_M, M_B – молярна маса метанолу та води відповідно, $\text{кг}/\text{моль}$;

X_p – вміст легко летучого компоненту в дистилляті, %мол.

$$M_D = 0,945 \cdot 32 + (1 - 0,945) \cdot 18 = 31,23 \text{ кг}/\text{кмоль}$$

Об'ємна витрата пари через колону:

$$V_D = \frac{G_D \cdot 22,4 \cdot T}{3600 \cdot M_D \cdot T_0} \quad (2.3.4)$$

де G_D – масова витрата пари, $\text{кг}/\text{год}$;

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

M_D – мольна маса дистилляту, кг/моль;

T – середня температура в колоні, °С.

$$V_D = \frac{13952,55 \cdot 22,4 \cdot (273 + 73,5)}{3600 \cdot 31,23 \cdot 273} = 3,52 \text{ м}^3/\text{с}$$

В'язкість рідких сумішей знаходимо з рівняння:

$$\lg \mu_x = X_{\text{ср}}^{\text{в/н}} \cdot \lg \mu_{\text{xB}} + (1 - X_{\text{ср}}^{\text{в/н}}) \cdot \lg \mu_{\text{xM}} \quad (2.3.5)$$

де μ_{xB} – в'язкість води, Па · с;

μ_{xM} – в'язкість метанолу, Па · с

$X_{\text{ср}}^{\text{в/н}}$ – середня концентрація метанолу в рідині і парі відповідно.

Тоді в'язкість рідини у верхній частині колоні при температурі 65,3°С:

$$\lg \mu_{\text{xB}} = 0,64 \cdot \lg 0,44 + (1 - 0,64) \cdot \lg 0,327 = -0,403 \rightarrow \mu_{\text{xB}} = 0,395 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

В'язкість рідини у нижній частині колоні при температурі 93,8°С:

$$\lg \mu_{\text{xH}} = 0,19 \cdot \lg 0,31 + (1 - 0,19) \cdot \lg 0,227 = -0,618 \rightarrow \mu_{\text{xH}} = 0,24 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

Середня в'язкість:

$$\lg \mu_{\text{x.ср}} = \frac{0,395 + 0,24}{2} = 0,3175 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

Для визначення питомої поверхні насадки і вільного об'єму насадки, виходячи з агресивності середовища, попередньо приймаємо насадку з керамічних кілець Рашига розміром 35 × 35 × 4 мм. Тоді:

$$a = 135 \text{ м}^2/\text{м}^3,$$

$$\varepsilon = 0,78 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Гранична швидкість пари:

$$\omega_{\text{п}} = \sqrt{\frac{1,2 \cdot \exp \left[-4 \cdot \left(\frac{4,44}{3,88} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{0,9}{851,3} \right)^{0,125} \right] \cdot 9,81 \cdot 0,78^3 \cdot 851,3}{135 \cdot 0,9 \cdot (0,3175 \cdot 10^{-3})^{0,16}}} = 4,98 \text{ м/с}$$

Прийемо робочу швидкість ω на 30% нижче граничної:

$$\omega_{\text{п.у}} = 0,7 \cdot 4,98 = 3,486 \text{ м/с}$$

Діаметр ректифікаційної колоні знаходимо з рівняння:

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho_{\text{ср}}^{\text{п}} \cdot \omega_{\text{п,у}}}} \quad (2.3.6)$$

де G – масова витрата пари, кг/с;

$\rho_{\text{ср}}^{\text{п}}$ – густина рідини середня, кг/м³;

$\omega_{\text{п,у}}$ – робоча швидкість пари, м/с.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,88}{3,14 \cdot 0,9 \cdot 3,486}} = 1,25 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр колони $D = 1400$ мм.

Висота шару насадки:

$$H_{\text{н}} = N_{\text{Т}} \cdot h_{\text{з}} \quad (2.3.7)$$

де $N_{\text{Т}}$ – теоретичне число тарілок, з графіку (рис. 2.2.1) приймаємо $N_{\text{Т}}^{\text{В}} = 7$, $N_{\text{Т}}^{\text{Н}} = 3$;

$h_{\text{з}}$ – еквівалентна висота насадки, знаходиться за формулою:

$$h_{\text{з}} = 5,2 \cdot d_{\text{з}} \cdot Re_{\text{п}}^{0,2} \cdot \left(\frac{G}{L}\right)^{0,35} \cdot \left(\frac{\rho_{\text{в/н}}^{\text{п}}}{\rho_{\text{в/н}}^{\text{р}}}\right)^{0,2} \cdot \frac{\lg \frac{L}{mG}}{1 - \frac{mG}{L}}, \quad (2.3.8)$$

де $Re_{\text{п}}$ – число Рейнольдса для пари;

L – витрата вихідної суміші, кг/с;

G – масова витрата пари, кг/с;

$\rho_{\text{в/н}}^{\text{п}}$ – густина пари у верхній/нижній частинах колони, кг/м³;

$\rho_{\text{в/н}}^{\text{р}}$ – густина рідини у верхній/нижній частинах колони, кг/м³;

m – тангенс кута нахилу рівноважної лінії;

$d_{\text{з}}$ – еквівалентний діаметр насадки:

$$d_{\text{з}} = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a} \quad (2.3.9)$$

де ε – вільний об'єм, м³/м³;

a – питома поверхня, м²/м³.

$$d_{\text{з}} = \frac{4 \cdot 0,785}{135} = 0,023 \text{ м}$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

В'язкість парів в колоні:

Для верхньої частини колони:

$$\mu_{yB} = \frac{M_{cp}^B}{\frac{y_{cp}^B \cdot M_M}{\mu_{yM}} + \frac{(1 - y_{cp}^B) \cdot M_B}{\mu_{yB}}} \quad (2.3.10)$$

де M_B^B - середня мольна маса парової фази для верхньої частини колони, кг/моль;

y_{cp}^B - середня концентрація метанолу в паровій фазі;

M_M, M_B – молярна маса метанолу та води відповідно, кг/моль;

μ_{yM}, μ_{yB} – в'язкість парів метанолу та води відповідно.

$$\mu_{yB} = \frac{29,16}{\frac{0,797 \cdot 32}{0,000327} + \frac{(1 - 0,797) \cdot 18}{0,00044}} = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Для нижньої частини колони:

$$\mu_{yH} = \frac{M_{cp}^H}{\frac{y_H \cdot M_M}{\mu_{yM}} + \frac{(1 - y_H) \cdot M_B}{\mu_{yB}}} \quad (2.3.11)$$

де M_{cp}^H - середня мольна маса парової фази для нижньої частини колони, кг/моль;

y_{cp}^B - середня концентрація метанолу в паровій фазі;

M_M, M_B – молярна маса метанолу та води відповідно, кг/моль;

μ_{yM}, μ_{yB} – в'язкість парів метанолу та води відповідно, Па · с.

$$\mu_{yH} = \frac{22,9}{\frac{0,3494 \cdot 32}{0,00031} + \frac{(1 - 0,3494) \cdot 18}{0,000227}} = 11,4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критерій Рейнольдса для парової суміші:

$$Re_n = \frac{4 \cdot \omega_{п.у} \cdot \rho_{cp}^{п.в/н}}{a \cdot \mu_{п.в/н}} \quad (2.3.12)$$

де $\omega_{п.у}$ – робоча швидкість пари, м/с.

$\rho_{cp}^п$ – густина пари для верхньої/нижньої частини колони, кг/м³;

a – питома поверхня, м²/м³;

$\mu_{п.в/н}$ – в'язкість парів у верхній/нижній частині колони, Па · с

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$Re_{п.в} = \frac{4 \cdot 3,486 \cdot 1,03}{135 \cdot 11,6 \cdot 10^{-6}} = 9171,3$$

$$Re_{пн} = \frac{4 \cdot 3,486 \cdot 0,77}{135 \cdot 11,4 \cdot 10^{-6}} = 6976,5$$

Відношення потоків пари до рідини:

$$\frac{G}{L} = \left(\frac{3,88}{4,44} \right) = 0,874$$

Тангенс кута нахилу рівноважної лінії визначимо за формулою:

$$m = \sum \frac{m}{N_T} \quad (2.3.13)$$

де m – коефіцієнт розподілення;

N_T – теоретичне число тарілок.

Приймаємо для верхньої частини колони наступні коефіцієнти:

$$m_1 = 2,6; \quad m_2 = 1,87; \quad m_3 = 1,34$$

$$m_{в} = \frac{2,6 + 1,87 + 1,34}{3} = 1,94$$

Приймаємо для нижньої частини колони наступні коефіцієнти:

$$m_1 = 0,72; \quad m_2 = 0,55; \quad m_3 = 0,41$$

$$m_{н} = \frac{0,72 + 0,55 + 0,41}{3} = 0,56$$

Тоді, еквівалентна висота насадки:

$$h_{зв} = 5,2 \cdot 0,023 \cdot 9171,3^{0,2} \cdot 0,874^{0,35} \cdot \left(\frac{740}{1,03} \right)^{0,2} \cdot \frac{\lg \frac{4,44}{1,94 \cdot 3,88}}{1 - \frac{1,94 \cdot 4,44}{3,88}} = 0,495 \text{ м}$$

$$h_{зн} = 5,2 \cdot 0,023 \cdot 6976,5^{0,2} \cdot 0,874^{0,35} \cdot \left(\frac{962,6}{0,77} \right)^{0,2} \cdot \frac{\lg \frac{4,44}{0,56 \cdot 3,88}}{1 - \frac{0,56 \cdot 4,44}{3,88}} = 2,39 \text{ м}$$

Тоді, висота шару насадки:

$$H_{в} = 7 \cdot 0,495 = 3,465 \text{ м}$$

$$H_{н} = 3 \cdot 2,39 = 7,17 \text{ м}$$

Приймаємо $H_{в} = 3,5 \text{ м}$, и $H_{н} = 7,2 \text{ м}$.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Оскільки висота нижнього шару занадто велика, розділимо її на дві рівні частини, і встановимо між ними ще одну розподільну тарілку.

Загальна висота насадки в колоні

$$H = 3,5 + 7,2 = 10,7 \text{ м}$$

Загальна висота колони:

$$H_k = H + h_p + h_{\text{спр}} + h_{\text{куб}}, \quad (2.3.14)$$

де H – висота насадки, м;

h_p – висота проміжків між секціями насадки, в яких встановлюються розподільники рідини, приймаємо $h_p = 2$ м;

$h_{\text{спр}}$ – висота сепарації простору над насадкою, приймаємо $h_{\text{спр}} = 1,5$ м

$h_{\text{куб}}$ – відстань між днищем і насадкою, $h_{\text{куб}} = 2,2$ м.

$$H_k = 10,7 + 2 + 1,5 + 2,2 = 16,4 \text{ м}$$

Визначення діаметрів штуцерів.

Приймаються наступні швидкості: швидкість пари на вході і виході - $\omega_{\text{шт.п.}} = 25$ м/с, швидкість флегми і кубового залишку в вихідній суміші самотоком - $\omega_{\text{шт.ф}} = 0,4$ м/с. Приймаємо, що діаметри вхідного і вихідного штуцерів для пара однакові:

Діаметри штуцерів для пару.

$$d_D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_D}{\pi \cdot \omega_{\text{шт.п.}}}} \quad (2.3.15)$$

де V_D – об'ємна витрата пари через колону, м³/с;

$\omega_{\text{шт.п.}}$ – швидкість пари, м/с.

$$d_D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,52}{3,14 \cdot 25}} = 0,423 \text{ м}$$

Приймаємо $d_D = 500$ мм

Діаметр штуцера вводу флегми.

Густина флегми (метанол):

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\rho_M = 756,2 \text{ кг/м}^3$$

Масова витрата флегми:

$$V_\Phi = \frac{G_D}{3600 \cdot \rho_A} \quad (2.3.16)$$

де G_D – масова витрата пари, кг/год;

ρ_A – густина метанолу, кг/м³.

$$V_\Phi = \frac{13952,55}{3600 \cdot 756,2} = 0,005 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр штуцера:

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \cdot V_\Phi}{\pi \cdot \omega_{п.у}}} \quad (2.3.17)$$

де V_Φ – масова витрата флегми, м³/с;

$\omega_{п.у.}$ - швидкість пари, м/с.

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 3,486}} = 0,043 \text{ м}$$

Приймаємо $d_f = 80 \text{ мм}$

Діаметр штуцера виводу кубового залишку.

Густина кубового залишку (вода):

$$\rho_B = 962,6 \text{ кг/м}^3$$

Об'ємна витрата кубового залишку:

$$V_w = \frac{L_w}{3600 \cdot \rho_B} \quad (2.3.18)$$

де L_w - продуктивність по кубовому залишку, кг/год;

ρ_B – густина води, кг/м³.

$$V_w = \frac{8695}{3600 \cdot 970} = 0,0025 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр штуцера виводу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot V_w}{\pi \cdot \omega_{п.у}}} \quad (2.3.19)$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

де V_w – об'ємна витрата кубового залишку, м³/с;

$\omega_{п.у.}$ - швидкість пари, м/с.

$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0025}{3,14 \cdot 3,486}} = 0,032 \text{ м}$$

Приймаємо $d_w = 100 \text{ мм}$

Діаметр штуцера вводу вихідної суміші.

Густина вихідної суміші приблизно оцінюємо як:

$$\rho_F = x_F \cdot \rho_M + (1 - x_p) \cdot \rho_B \quad (2.3.20)$$

де $\rho_M = 756,6 \text{ кг/м}^3$, $\rho_B = 962,6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина метанолу та води відповідно,

x_F, x_p - вміст легко летучого компонента в початковій суміші та в дистилляті відповідно, %мол.

$$\rho_F = 0,34 \cdot 756,6 + (1 - 0,34) \cdot 962,6 = 892,56 \text{ кг/м}^3$$

Об'ємні витрати вихідної суміші:

$$V_f = \frac{L_f}{(3600 \rho_F)} \quad (2.3.21)$$

де L_f - продуктивність по вихідній суміші, кг/год;

ρ_B – густина води, кг/м³.

$$V_f = \frac{16000}{3600 \cdot 892,56} = 0,005 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр штуцера:

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \cdot V_f}{\pi \cdot \omega_{п.у.}}} \quad (2.3.22)$$

де V_f – об'ємна витрата вихідної суміші, м³/с;

$\omega_{п.у.}$ - швидкість пари, м/с.

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 3,486}} = 0,043 \text{ м}$$

Приймаємо $d_f = 80 \text{ мм}$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.4 ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР АПАРАТА

Гідравлічний опір насадки знаходять з рівняння:

$$\Delta P = 10^{169 \cdot U} \cdot \Delta P_c \quad (2.4.1)$$

де U – щільність зрошення, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$;

ΔP_c – гідравлічний опір сухої насадки, Па.

Гідравлічний опір сухої незрошеної насадки ΔP_c :

$$\Delta P_c = \lambda \cdot \frac{H \cdot \omega_{п.у}^2 \cdot \rho_{в/н}^п}{d_3 \cdot 2\varepsilon^2} \quad (2.4.2)$$

де λ – коефіцієнт опору;

H – висота насадки в колоні, м;

$\omega_{п.у}$ – уточнена швидкість пари, м/с;

$\rho_{в/н}^п$ – густина пари у верхній/нижній частинах колони, $\text{кг}/\text{м}^3$;

d_3 – еквівалентний діаметр насадки, м;

ε – вільний об'єм, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Для турбулентного руху, коефіцієнт опору сухої насадки у вигляді упорядковано засипаних кілець Рашига знаходять з рівняння:

$$\lambda = \frac{16}{Re_n^{0,2}} \quad (2.4.3)$$

де Re_n – число Рейнольдса для пари.

Для верхньої і нижньої частин колони відповідно отримаємо:

$$\lambda_v = \frac{16}{9171,3^{0,2}} = 2,58$$

$$\lambda_n = \frac{16}{6976,5^{0,2}} = 2,73$$

Гідравлічний опір сухої насадки у верхній і нижній частинах колони:

$$\Delta P_{с.в.} = 2,58 \cdot \frac{3,5 \cdot 3,486^2 \cdot 1,03}{0,023 \cdot 2 \cdot 0,78^2} = 4038,6 \text{ Па}$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$\Delta P_{с.н.} = 2,73 \cdot \frac{7,2 \cdot 3,486^2 \cdot 0,77}{0,023 \cdot 2 \cdot 0,78^2} = 6571,94 \text{ Па}$$

Щільність зрошення у верхній і нижній частинах колони знаходимо за рівнянням:

$$U = \frac{L}{\rho_x \cdot 0,785D^2} \quad (2.4.4)$$

де L – витрата вихідної суміші, кг/с;

$\rho_{в/н}^p$ – густина рідини у верхній/нижній частинах колони, кг/м³;

D – діаметр колони, м.

$$U_{в} = \frac{4,44}{740 \cdot 0,785 \cdot 1,4^2} = 0,0039 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$$

$$U_{н} = \frac{4,44}{962,6 \cdot 0,785 \cdot 1,4^2} = 0,003 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$$

Гідравлічний опір зрошуваної насадки у верхній і нижній частинах:

$$\Delta P_{в} = 10^{169 \cdot 0,00269} \cdot 4038,6 = 11503,78 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{н} = 10^{169 \cdot 0,003} \cdot 6571,94 = 21119,98 \text{ Па}$$

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta P_r = 11503,78 + 21119,98 = 32623,76 \text{ Па} \approx 0,033 \text{ МПа}$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2.5 ВИБІР ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

2.5.1 Насос для подачі початкової суміші в ректифікаційну колону

Початкові дані:

- густина суміші $\rho = 892,56 \text{ кг/м}^3$;

- в'язкість суміші $\mu = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$

- продуктивність насоса при закачуванні $V = \frac{16000}{3600 \cdot 962,6} = 0,0046 \text{ м}^3/\text{с}$;

- геометричний напір $H_r = 10 \text{ м}$;

- діаметр трубопроводу $d = 80 \text{ мм}$;

- довжина трубопроводу $L = 12,5 \text{ м}$.

Швидкість рідини:

$$\omega_p = \frac{V}{0,785 \cdot d^2} \quad (2.5.1)$$

де V - продуктивність насоса при закачуванні, $\text{м}^3/\text{с}$;

d - діаметр трубопроводу, м;

$$\omega_p = \frac{0,0046}{0,785 \cdot 0,08^2} = 0,92 \text{ м/с}$$

Швидкісний напір:

$$h_{\text{ш.н.}} = \frac{\omega_p^2}{2 \cdot g} \quad (2.5.2)$$

де ω – швидкість рідини, м/с .

$$h_{\text{ск}} = \frac{0,92^2}{2 \cdot 9,81} = 0,043 \text{ м}$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega_p \cdot d \cdot \rho}{\mu_{\text{ср}}} > 10000 \quad (2.5.3)$$

де ρ – густина суміші, кг/м^3 ;

d - діаметр трубопроводу, м;

μ – в'язкість суміші, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

$$Re = \frac{0,92 \cdot 0,08 \cdot 892,56}{11,6 \cdot 10^{-6}} = 5663139,3 > 10000$$

Коефіцієнт опору:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,15}} \quad (2.5.4)$$

де Re - критерий Рейнольдса.

$$\lambda = \frac{0,316}{5663139,3^{0,15}} = 0,03$$

Приймаємо коефіцієнт втрат на місцеві опори:

$$\xi = 5,0$$

Втрата напору на тертя і місцеві опори:

$$h = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot h_{ш.н.} + \xi \cdot h_{ш.н.} \quad (2.5.5)$$

де λ – коефіцієнт опору;

L – довжина трубопроводу, м;

$h_{ш.н.}$ – швидкісний напір, м;

ξ - коефіцієнт втрат на місцеві опори.

$$h = 0,03 \cdot \frac{12,5}{0,08} \cdot 0,043 + 5 \cdot 0,043 = 0,417 \text{ м}$$

Необхідний напір насоса:

$$H = \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + H_r + h \quad (2.5.6)$$

де $\Delta P = 0$ – перепад тиску, МПа;

ρ – густина суміші, кг/м³;

H_r – геометричний напір, м;

h - втрата напору на тертя і місцеві опори, м.

$$H = \frac{0}{962,6 \cdot 9,81} + 10 + 0,417 = 10,417 \text{ м}$$

Необхідна потужність електродвигуна:

$$N = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{1000 \cdot \eta} \quad (2.5.7)$$

де V - продуктивність насоса при закачуванні, м³/с;

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

ρ - густина суміші, кг/м^3 ;

H – необхідний напір насосу, м;

η – ККД двигуна, приймаємо для відцентрового насоса $\eta = 0,6$ [4].

$$N = \frac{0,0046 \cdot 962,6 \cdot 9,81 \cdot 10,417}{1000 \cdot 0,6} = 0,75 \text{ кВт}$$

Приймаємо насос Х20/31 з такими параметрами:

продуктивність $Q = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

загальний напір $H = 18 \text{ м}$;

число оборотів $n = 48,3 \text{ рад/с}$;

ККД $\eta_n = 0,55$.

Для такого типу насоса підбираємо двигун АО2-41-2 з потужністю $N_n = 5,5 \text{ кВт}$.

2.5.2 Теплообмінник для кип'ятіння початкової суміші

Початкові дані:

продуктивність - $G = \frac{16000}{3600} = 4,44 \text{ м}^3/\text{с}$;

початкова температура суміші - 15°C ;

кінцева температура суміші - 65°C (температура кипіння метанолу);

теплоносій – водяна пара (тиск $p = 0,15 \text{ МПа}$, температура – $106,1^\circ\text{C}$).

Тепловий потік в апараті:

$$Q = G_c \cdot c_c \cdot (t_1 - t_0) \quad (2.5.8)$$

де G_c - масовий расход воздуха, кг/с ;

c_c – теплоємність початкової суміші при $t_{cp} = 65^\circ\text{C}$;

t_0 – температура суміші на вході в теплообмінник, $^\circ\text{C}$;

t_1 - температура суміші на виході з теплообміннику, $^\circ\text{C}$.

Середня питома теплоємність суміші визначається за рівнянням:

$$c = x_F \cdot c_F + (1 - x_F) \cdot c_{\text{ж}} \quad (2.5.9)$$

де c_F - питома теплоємність живлення, $\text{Дж} / (\text{кг К})$;

x_F – концентрація легкокиплячого компонента в початковій суміші.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$c_F = 0,34 \cdot 2883 + (1 - 0,34) \cdot 4184 = 3741,66 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

$$Q = 4,44 \cdot 3741,66 \cdot (65 - 15) = 830648,5 \text{ Вт}$$

Середня рушійна сила:

$$\Delta t_{cp} = 106,1 - 65 = 41,1^\circ\text{C}$$

Приймаємо орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі $K_{op} = 800 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Тоді орієнтовні значення площі теплообмінника за рівнянням:

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{cp}} \quad (2.5.10)$$

де Q_K – тепловий потік в апараті, Вт;

K_{op} – орієнтовний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м · К);

Δt_{cp} – рушійна сила процесу.

$$F_{op} = \frac{830648,5}{800 \cdot 41,1} = 25,3 \text{ м}^2$$

Згідно ГОСТ 15119-79, приймаємо одноходовий вертикальний кожухотрубний теплообмінник із наступними параметрами:

Площа поверхні теплообміну $F = 40 \text{ м}^2$;

Діаметр кожуха $D = 600 \text{ мм}$;

Довжина труб $l = 2000 \text{ мм}$;

Діаметр труб $d = 25 \times 2 \text{ мм}$.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3. РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

3.1 РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ СТІНОК ОБИЧАЙКИ КОЛОНИ

Товщина обичайки розраховується за формулою:

$$S \geq \max \left\{ \frac{p \cdot D}{[2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p]}, \frac{p_n \cdot D}{[2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - p_n]} \right\} + c \quad (3.1.1)$$

де p – розрахунковий тиск, який враховує робочий тиск і гідравлічний опір:

$$p = [p] + \Delta P_r = 0,1 + (15,4 \cdot 851,3 \cdot 9,81) \cdot 10^{-6} = 0,229 \text{ МПа}$$

D – діаметр апарату, м;

$[\sigma]$ – нормативне допустиме напруження, МПа;

p_n – пробний тиск, МПа;

$[\sigma]_n$ – пробне допустиме напруження, МПа;

φ – коефіцієнт зварного шву.

Оскільки середовище є нейтральним, то приймаємо матеріал сталь 16ГС, для якої $\sigma^* = 170 \text{ МПа}$.

Тоді:

$$[\sigma] = \sigma \cdot \eta \quad (3.1.2)$$

де $\eta = 1$ - поправочний коефіцієнт, що враховує вид заготовки (листовий прокат);

$[\sigma]$ – нормативне допустиме напруження, МПа.

$$[\sigma] = 170 \cdot 1 = 170 \text{ МПа}$$

Надбавка до розрахункової товщини:

$$c = \Pi \cdot \tau \quad (3.1.3)$$

де $\Pi = 0,15 \text{ мм/рік}$;

$\tau = 20 \text{ років}$ – термін експлуатації апарату.

$$c = 0,15 \cdot 20 = 3 \text{ мм}$$

Визначимо пробний тиск (p_n) і напруження, що допускається ($[\sigma]_n$):

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$[\sigma]_{\text{н}} = \frac{\sigma_{20\text{T}}}{1,1} \quad (3.1.4)$$

де $\sigma_{20\text{T}}$ – межа текучості матеріалу, МПа.

$$[\sigma]_{\text{н}} = \frac{280}{1,1} = 254,5 \text{ МПа}$$

Тоді:

$$P_{\text{н}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{[\sigma]} \\ 0,2 \end{array} \right\} \quad (3.1.5)$$

де P – розрахунковий тиск, МПа;

σ_{20} – нормативне допустиме напруження за звичайних умов, МПа;

$[\sigma]$ - нормативне допустиме напруження, МПа.

$$P_{\text{н}} = \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,229 \cdot \frac{170}{162} \\ 0,2 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,36 \text{ МПа} \\ 0,2 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,36 \text{ МПа}$$

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних і паяних з'єднань:

$$\varphi = 0,8$$

Тоді:

$$S \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,229 \cdot 1400}{(2 \cdot 0,8 \cdot 162 - 0,229)} \\ \frac{0,36 \cdot 1400}{(2 \cdot 0,8 \cdot 254,5 - 0,36)} \end{array} \right\} + 3$$

$$S \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 4,23 \text{ мм} \\ 4,24 \text{ мм} \end{array} \right\}$$

$$S \geq 4,24 \text{ мм}$$

З огляду на той факт, що висота апарату більше 10 м, остаточно приймаємо товщину стінки $S = 10 \text{ мм}$.

При виборі товщини стінки повинна виконуватися умова:

$$\frac{S - c}{D} < 0,1 \quad (3.1.6)$$

де S – товщина стінки, мм;

c – надбавка до розрахункової товщини, мм.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$\frac{10 - 3}{1400} = 0,005 < 0,1 - \text{умова виконана}$$

Товщина днища та кришки.

Найбільш раціональною формою для циліндричних апаратів є еліптична. Еліптичні днища і кришки виготовляються з листового прокату штампуванням і можуть використовуватися в апаратах з надлишковим тиском до 10 МПа. Кришки і днища підбирають стандартними за таблицями з довідкової літератури.

$$S \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{p \cdot D}{[2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p]} \\ \frac{p_n \cdot D}{[2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_n - 0,5 \cdot p_n]} \end{array} \right\} + c \quad (3.1.7)$$

де p – розрахунковий тиск, МПа;

D – діаметр апарату, м;

$[\sigma]$ – нормативне допустиме напруження, МПа;

p_n – пробний тиск, МПа;

$[\sigma]_n$ – пробне допустиме напруження, МПа;

φ – коефіцієнт зварного шву.

$$S \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,229 \cdot 1400}{(2 \cdot 0,8 \cdot 162 - 0,229 \cdot 0,5)} \\ \frac{0,36 \cdot 1400}{(2 \cdot 0,8 \cdot 254,5 - 0,36 \cdot 0,5)} \end{array} \right\} + 3$$

$$S \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 4,23 \text{ мм} \\ 4,24 \text{ мм} \end{array} \right\}$$

$$S \geq 4,24 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину кришки рівній товщині обичайки $S = 10$ мм. Підбираємо стандартні сталеві відбортовані днище і кришку згідно (ГОСТ 6533-68).

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3.2 РОЗРАХУНОК ГЕРМЕТИЧНОСТІ ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ

Приймаються наступні вихідні дані:

температура фланців $t_{\phi} = 90^{\circ}\text{C}$;

температура болтів $t_{\delta} = 85^{\circ}\text{C}$;

внутрішній тиск $P = 0,229$ МПа;

зовнішня сила $F = 0$ МН;

$\sigma_{\delta}^{20} = 130$ МПа - допустиме болтове напруження для сталі 35 при температурі $t_{\delta} = 20^{\circ}\text{C}$;

$\sigma_{\delta}^t = 127$ МПа - допустиме болтове напруження для сталі 35 при температурі $t_{\delta} = 85^{\circ}\text{C}$;

$[\sigma_{\phi}]^{20} = 147$ МПа - допустиме фланцеве напруження для сталі 35 при температурі $t_{\phi} = 20^{\circ}\text{C}$;

$[\sigma_{\phi}]^t = 142$ МПа - допустиме фланцеве напруження для сталі 35 при температурі $t_{\phi} = 90^{\circ}\text{C}$;

Товщина втулки фланця:

$$s \leq S_0 \leq 1,3 \cdot s \quad (3.2.1)$$

де s – виконавча товщина обичайки, мм.

$$10 \leq S_0 \leq 1,3 \cdot 10 = 13$$

Приймаємо $S_0 = 12$ мм.

Товщина біля основи втулки:

$$S_1 = \beta_1 S_0 \quad (3.2.2)$$

де β_1 – допоміжний коефіцієнт;

S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$s_1 = 1,5 \cdot 0,012 = 0,018 \text{ м}$$

Висота втулки фланця:

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$h_{\text{в}} \geq \frac{1}{i} \cdot (s_1 - s_0) \quad (3.2.3)$$

де $i = \frac{1}{3}$ – похил втулки;

S_0 - товщина втулки фланця, м;

S_1 - товщина біля основи втулки, м.

$$h_{\text{в}} = \frac{1}{\frac{1}{3}} \cdot (0,018 - 0,012) = 0,018 \text{ м}$$

Діаметр болтової окружності:

$$D_{\text{б}} \geq D + 2 \cdot (s_1 + d_{\text{б}} + u) \quad (3.2.4)$$

де D – діаметр апарату, мм;

s_1 - товщина біля основи втулки, м;

$d_{\text{б}}$ – рекомендований діаметр болтів, приймаємо $d_{\text{б}} = 20$ мм.

u – нормативний зазор між гайкою і втулкою, приймаємо $u = 4$ мм.

$$D_{\text{б}} = 1,4 + 2 \cdot (0,018 + 0,02 + 0,004) = 1,484 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_{\text{н}} = D_{\text{б}} + a \quad (3.2.5)$$

де a – конструктивна надбавка, приймаємо $a = 40$ мм;

$D_{\text{б}}$ - діаметр болтової окружності, мм.

$$D_{\text{н}} = 1,484 + 0,04 = 1,524 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{\text{н.п.}} = D_{\text{б}} - e \quad (3.2.6)$$

де $e = 30$ мм – нормативний параметр, що залежить від типу прокладки;

$D_{\text{б}}$ - діаметр болтової окружності, мм.

$$D_{\text{н.п.}} = 1,484 - 0,03 = 1,454 \text{ м}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{\text{с.п.}} = D_{\text{н.п.}} - b \quad (3.2.7)$$

де $D_{\text{н.п.}}$ - зовнішній діаметр прокладки, м;

b – ширина прокладки, приймаємо для плоскої неметалевої прокладки

$b = 25$ мм.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$D_{с.п.} = 1,454 - 0,025 = 1,429 \text{ мм}$$

Кількість болтів, яка необхідна для забезпечення герметичності з'єднання:

$$n_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{ш}}} \quad (3.2.8)$$

де $D_{\text{б}}$ - діаметр болтової окружності, м;

$t_{\text{ш}}$ - рекомендований крок розташування болтів, м:

$$t_{\text{ш}} = (4,2 \dots 5) \cdot d_{\text{б}} \quad (3.2.9)$$

де $d_{\text{б}}$ - діаметр болтів, м.

$$t_{\text{ш}} = 4,5 \cdot 0,02 = 0,09 \text{ мм}$$

$$n_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 1,484}{0,09} = 51,8 \text{ шт}$$

Приймаємо $n_{\text{б}} = 52$ шт.

Висота (товщина) фланця орієнтовно:

$$h_{\text{ф}} = \lambda_{\text{ф}} \cdot \sqrt{D \cdot S_{\text{эк}}} \quad (3.2.10)$$

де $\lambda_{\text{ф}} = 0,22$ - допоміжний коефіцієнт;

D - діаметр апарату, мм;

$S_{\text{эк}}$ - еквівалентна товщина втулки:

$$S_{\text{эк}} = S_0 \cdot \left(1 + \frac{h_{\text{в}} \cdot (\beta_1 - 1)}{h_{\text{в}} + 0,25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot S_0}} \right) \quad (3.2.11)$$

де S_0 - товщина втулки фланця, мм;

$h_{\text{в}}$ - висота втулки фланця, мм;

β_1 - коефіцієнт, який визначається за рис. 1.39 [1];

D - діаметр апарату, мм.

$$S_{\text{эк}} = 12 \cdot \left(1 + \frac{0,018 \cdot (1,5 - 1)}{0,018 + 0,25 \cdot (1,5 + 1) \cdot \sqrt{1,4 \cdot 0,012}} \right) = 13,1 \text{ мм}$$

Приймаємо $S_{\text{эк}} = 14$ мм.

$$h_{\text{ф}} = 0,22 \cdot \sqrt{1,4 \cdot 0,014} = 0,0308 \text{ м}$$

Приймаємо $h_{\text{ф}} = 32$ мм

Мінімально необхідна довжина болтів:

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$L_{\phi} = 2 \cdot (h_{\phi} + h_{п}) + 0,28 \cdot d_{\phi} \quad (3.2.12)$$

де h_{ϕ} – висота (товщина) фланця, м;

$h_{п} = 0,005$ м – висота (товщина) стандартної прокладки;

d_{ϕ} – діаметр болтів, м.

$$L_{\phi} = 2 \cdot (0,032 + 0,005) + 0,28 \cdot 0,02 = 0,0796 \text{ м}$$

Приймаємо довжину болта $L_{\phi} = 120$ мм. Тоді, приймаємо:

Болт М20-6gx120 ГОСТ 7795-70

Ефективна ширина прокладки при ширині прокладки $b \leq 15$ мм:

$$b_E = 0,5 \cdot b \quad (3.2.13)$$

де b – ширина прокладки.

$$b_E = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ мм}$$

Подальші розрахунки ведемо для двох фланців, однак приймаємо, що вони однакові.

Конструктивний коефіцієнт для фланця:

$$K_{\phi} = \frac{D_n}{D} \quad (3.2.14)$$

де D_n – зовнішній діаметр фланця, м;

D – діаметр апарату, м.

$$K_{\phi} = \frac{1,524}{1,4} = 1,09$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K_{\phi} \quad (3.2.15)$$

де K_{ϕ} – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,09 = 0,0472$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_{\phi} + 1}{K_{\phi} - 1} \quad (3.2.16)$$

де K_{ϕ} – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$\psi_{2\phi} = \frac{1,09 + 1}{1,09 - 1} = 23,6$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Поправочний коефіцієнт для прорізу S_0 для плоских приварних фланців:

$$\psi_{зф} = 1,00$$

Геометричні параметри фланців:

$$j_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{S_0} \quad (3.2.17)$$

де h_{ϕ} – висота (товщина) фланця, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$j_{\phi} = \frac{0,032}{0,012} = 2,46$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} \quad (3.2.18)$$

де K_{ϕ} – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$T_{\phi} = \frac{1,09^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,09) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,09^2) \cdot (1,09 - 1)} = 1,879$$

Безрозмірний параметр:

$$\omega_{\phi} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot (1 + \psi_1 \cdot j_{\phi}^2)} \quad (3.2.19)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,22$ – допоміжний коефіцієнт;

ψ_1 – поправочний коефіцієнт;

j_{ϕ} – геометричний параметр фланців.

$$\omega_{\phi} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,22 \cdot (1 + 0,0472 \cdot 2,46^2)} = 0,797$$

Кутова податливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})) \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}^t} \quad (32.20)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,22$ – допоміжний коефіцієнт;

ψ_2 – поправочний коефіцієнт;

h_{ϕ} – висота (товщина) фланця, мм;

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

$E_{\phi}^t = 1,92 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності фланця при $t_{\phi} = 90^{\circ}\text{C}$.

$$y_{\phi} = \frac{(1 - 0,797 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,22)) \cdot 23,6}{0,032^3 \cdot 1,92 \cdot 10^5} = 0,1745 \text{ м/МН}$$

Лінійна піддатливість прокладки:

$$y_{\Pi} = \frac{2 \cdot h_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot b \cdot E_{\Pi}} \quad (3.2.21)$$

де $h_{\Pi} = 5$ мм – висота (товщина) стандартної прокладки;

$D_{\text{ср}}$ – середній діаметр прокладки, м;

b – товщина прокладки, м;

E_{Π} – модуль пружності прокладки, для азбестового картону $E_{\Pi} = 2000$ МПа.

$$y_{\Pi} = \frac{2 \cdot 0,005}{3,14 \cdot 1,429 \cdot 0,025 \cdot 2000} = 4,455 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

Площа поперечного перерізу болта:

$$f_{\text{Б}} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot n_{\text{Б}}} \quad (3.2.22)$$

де $L_{\text{Б}}$ – довжина болта, м;

$E_{\text{Б}}$ – модуль пружності болта, МПа;

$f_{\text{Б}}$ – площа поперечного розрізу болта, м^2 ;

$n_{\text{Б}}$ – число болтів, шт.

$$y_{\text{Б}} = \frac{0,12}{1,92 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 52} = 5,11 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\phi} = \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot 2 \cdot y_{\phi} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{ср}})^2} \quad (3.2.23)$$

де y_{Π} – лінійна податливість прокладки, м/МН;

$y_{\text{Б}}$ – лінійна податливість болтів, м/МН;

y_{ϕ} – кутова податливість фланців, м/МН;

$D_{\text{Б}}$ – діаметр болтової окружності, м;

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$D_{с.п.}$ – середній діаметр прокладки, м.

$$A_{\phi} = \frac{1}{4,455 \cdot 10^{-5} + 5,11 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 2 \cdot 0,1745 \cdot (1,484 - 1,429)^2} = 2780$$

Параметр жорсткості фланців:

$$B_{\phi} = y_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D - S_0) \quad (3.2.24)$$

де y_{ϕ} - кутова податливість фланців, м/МН;

D_{ϕ} - діаметр болтової окружності, м;

D - діаметр апарату, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$B_{\phi} = 0,1745 \cdot (1,484 - 1,4 - 0,012) = 0,0126 \text{ 1/МН}$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_{\phi} \quad (3.2.25)$$

де A_{ϕ} - параметр жорсткості фланцевого з'єднання;

y_{ϕ} - лінійна податливість болтів, м/МН.

$$\gamma = 2780 \cdot 5,11 \cdot 10^{-5} = 0,142$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$a_{\phi} = A_{\phi} \cdot (y_{\phi} + 0,25 \cdot 2 \cdot B_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D_{с.п.})) \quad (3.2.26)$$

де A_{ϕ} - параметр жорсткості фланцевого з'єднання;

y_{ϕ} - лінійна податливість болтів, м/МН;

B_{ϕ} - параметр жорсткості фланців;

D_{ϕ} - діаметр болтової окружності, м;

$D_{с.п.}$ – середній діаметр прокладки, м.

$$a_{\phi} = 2780 \cdot (5,11 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 2 \cdot 0,142 \cdot (1,484 - 1,429)) = 1,103$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{с.п.}^2 \cdot P \quad (3.2.27)$$

де $D_{с.п.}$ – середній діаметр прокладки, м;

P – тиск в апараті, МПа.

$$Q_d = 0,785 \cdot 1,484^2 \cdot 0,229 = 0,367 \text{ МН}$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Реакція прокладок в робочих умовах:

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot k \cdot P \quad (3.2.28)$$

де $D_{\text{с.п.}}$ - середній діаметр прокладки, м;

$b_{\text{Е}}$ - ефективна ширина прокладки, м;

k - коефіцієнт прокладки, приймаємо для картонної прокладки $k = 2,5$;

P - тиск в апараті, МПа.

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,429 \cdot 0,0125 \cdot 2,5 \cdot 0,229 = 0,0643 \text{ МН}$$

Зусилля, яке виникає від температурних деформацій фланцевого з'єднання:

$$Q_{t_{\text{ф}}} = \gamma \cdot n_{\text{б}} \cdot E_{\text{б}} \cdot f_{\text{б}} \cdot (a_{\text{ф}}^t \cdot t_{\text{ф}} - a_{\text{б}}^t \cdot t_{\text{б}}) \quad (3.2.29)$$

де γ - безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання;

$n_{\text{б}}$ - число болтів, шт.;

$E_{\text{б}}$ - модуль пружності болта, МПа;

$f_{\text{б}}$ - площа поперечного розрізу болта, м^2 ;

$a_{\text{ф}}^t = 16 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт лінійного розширення при робочій температурі фланців;

$t_{\text{ф}}$ - температура фланців, $^{\circ}\text{C}$;

$a_{\text{б}}^t = 12,3 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт лінійного розширення при робочій температурі болтів;

$t_{\text{б}}$ - температура болтів, $^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{t_{\text{ф}}} = 0,142 \cdot 52 \cdot 1,92 \cdot 10^5 \cdot 2,34 \cdot 10^{-4} \cdot (16 \cdot 10^{-6} \cdot 90 - 12,3 \cdot 10^{-6} \cdot 85) = 0,132 \text{ МН}$$

Монтажне болтове зусилля фланцевого з'єднання за різними умовами:

$$P'_{\text{б1}} = \pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot q \quad (3.2.30)$$

де $D_{\text{с.п.}}$ - середній діаметр прокладки, м;

$b_{\text{Е}}$ - ефективна ширина прокладки, м;

q - тиск обтиску прокладки, МПа.

$$P'_{\text{б1}} = 3,14 \cdot 1,429 \cdot 0,0125 \cdot 20 = 1,122 \text{ МН}$$

$$P''_{\text{б1}} = a_{\text{ф}} \cdot (Q_{\text{д}} \mp P) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{с.п.}}} \quad (3.2.31)$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

де $D_{с.п.}$ - середній діаметр прокладки, м;

$R_{п}$ - реакція прокладки, МН;

$\alpha_{ф}$ - коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання;

$Q_{д}$ - рівнодіюча внутрішнього тиску, МН;

M - обертаючий момент, Н · м;

P - перепад тиску в апараті, МПа.

$$P'_{61} = 1,103 \cdot (0,367 \mp 0) + 0,0643 + \frac{4 \cdot 0}{1,429} = 0,469 \text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження ($P < 0,6$ МПа):

$$P_{61} = \max\{P'_{61}; P''_{61}\} \quad (3.2.32)$$

$$P_{61} = \max\{1,122; 0,469\} = 1,122 \text{ МН}$$

Умова потужності прокладки:

$$\frac{P_{61}}{\pi \cdot D_{с.п.} \cdot b} \leq [q] \quad (3.2.33)$$

де P_{61} - розрахункова болтова навантаження, МН;

$D_{с.п.}$ - середній діаметр прокладки, м;

b - ширина прокладки, м.

$$\frac{1,122}{3,14 \cdot 1,429 \cdot 0,025} = 9,97 \text{ МПа} \leq [q] = 130 \text{ МПа} - \text{умова виконана}$$

Болтове навантаження в робочих умовах:

$$P_{62} = P_{61} + (1 - \alpha_{ф}) \cdot (Q_{д} \mp P) + Q_{тф} + \frac{4M}{D_{с.п.}} \quad (3.2.34)$$

де P_{61} - розрахункова болтова навантаження, МН;

$\alpha_{ф}$ - коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання;

$Q_{д}$ - рівнодіюча внутрішнього тиску, МН;

P - перепад тиску в апараті, МПа;

M - обертаючий момент, Н · м;

$Q_{тф}$ - зусилля, виникаюче від температурних деформацій фланців;

$D_{с.п.}$ - середній діаметр прокладки, м.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$P_{62} = 1,122 + (1 - 1,103) \cdot (0,367 \mp 0) + 0,132 + \frac{4 \cdot 0}{1,429} = 1,216 \text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження:

$$P_{6\phi} = \max\{P_{61}; P_{62}\} \quad (3.2.35)$$

де P_{61} - розрахункове болтове навантаження, МН;

P_{62} - болтове навантаження в робочих умовах, МН.

$$P_{6\phi} = \max\{1,122; 1,216\} = 1,216 \text{ МН}$$

Напруження розтягування болтів в робочих умовах і умовах монтажу відповідно:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{B2}}{n_B \cdot f_B} \quad (3.2.36)$$

де P_{B2} - болтове навантаження в робочих умовах, МН;

P_{B1} - розрахункове болтове навантаження, МН;

n_B - число болтів, шт.;

f_B - площа поперечного розрізу болта, м².

$$\sigma_B^t = \frac{1,216}{52 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 99,49 \text{ МПа}$$

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{B1}}{n_B \cdot f_B} \quad (3.2.37)$$

$$\sigma_B^{20} = \frac{1,122}{52 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 91,82 \text{ МПа}$$

Обертаючий момент при затягуванні гайок:

$$M_{\text{скр}} = f_1 \cdot \frac{P_{6\phi}}{n_B} \cdot d_B \quad (3.2.38)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя, приймаємо $f_1 = 0,1$;

$P_{6\phi}$ - розрахункове болтове навантаження, МН;

n_B - число болтів, шт.;

d_B - діаметр болтів, м.

$$M_{\text{скр}} = 0,1 \cdot \frac{1,216}{52} \cdot 0,02 = 4,68 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Дотичне напруження в болтах:

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\tau_{\text{б}} = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_0^3} \quad (3.2.39)$$

де $M_{\text{скр}}$ - момент, що крутить, при затягуванні гайок, МН · м;

d_0 – внутрішній діаметр болтів, мм.

$$\tau_{\text{б}} = \frac{4,68 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,01838^3} = 37,66 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження в болтах:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} = \sqrt{(\sigma_{\text{Б}}^{20})^2 + 3\tau^2} \quad (3.2.40)$$

де $\sigma_{\text{Б}}^{20}$ - напруження розтягу болтів в умовах монтажу, МПа;

$\sigma_{\text{Б}}^t$ - напруження розтягу болтів в робочих умовах, МПа;

τ - дотичне напруження в болтах, МПа.

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} = \sqrt{91,82^2 + 3 \cdot 37,66^2} = 112,63 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t = \sqrt{(\sigma_{\text{Б}}^t)^2 + 3\tau^2} \quad (3.2.41)$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t = \sqrt{99,49^2 + 3 \cdot 37,66^2} = 118,97 \text{ МПа}$$

Умова потужності болтів:

$$\sigma_{\text{БЕ}}^{20} \leq [\sigma_{\text{Б}}]^{20} \quad (3.2.42)$$

$$112,63 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа} \text{ – умова виконана}$$

$$\sigma_{\text{БЕ}}^t \leq [\sigma_{\text{Б}}]^t \quad (3.2.43)$$

$$118,97 \text{ МПа} < 127 \text{ МПа} \text{ – умова виконана}$$

Наведений вигинає момент в діаметральному перетині фланця в умовах монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{\text{Б1}} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{с.п.}}) \quad (3.2.44)$$

де $P_{\text{Б1}}$ - розрахункове болтове навантаження, МН;

$D_{\text{Б}}$ - діаметр болтової окружності, м;

$D_{\text{с.п.}}$ - середній діаметр прокладки, м.

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot 1,122 \cdot (1,524 - 1,429) = 0,0309 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Наведений вигинаючий момент в діаметральному перетині фланця в робочих умовах:

$$M_{02\phi} = \frac{0,5 \cdot [P_{Б2} \cdot (D_{Б} - D_{с.п.}) + Q_{д} \cdot (D_{с.п.} - D - S_0)] \cdot [\sigma_{\phi}]^{20}}{[\sigma_{\phi}]^t} \quad (3.2.45)$$

де $P_{Б2}$ - болтове навантаження в робочих умовах, МН;

$D_{Б}$ - діаметр болтової окружності, м;

$D_{с.п.}$ - середній діаметр прокладки, м;

$Q_{д}$ - рівнодіюча внутрішнього тиску, МН;

D - діаметр апарату, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м;

$[\sigma_{\phi}]^{20} = 147$ МПа - допустима фланцева напруга для сталі 35 при температурі $t_{\phi} = 20^{\circ}\text{C}$;

$[\sigma_{\phi}]^t = 142$ МПа - допустима фланцева напруга для сталі 35 при температурі $t_{\phi} = 85^{\circ}\text{C}$.

$$M_{02\phi} = \frac{0,5 \cdot [0,427 \cdot (1,524 - 1,429) + 0,367 \cdot (1,429 - 1,4 - 0,012)] \cdot 147}{142} = 0,0378 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий наведений момент в діаметральному перетині фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\} \quad (3.2.46)$$

$$M_{0\phi} = \max\{0,0309; 0,0378\} = 0,0378 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допоміжна величина:

$$\varepsilon = 20 \cdot S_0 \quad (3.2.47)$$

де S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$\varepsilon = 20 \cdot 0,012 = 0,24$$

Розрахунковий діаметр при $D \geq \varepsilon$:

$$D^* = D = 1,4 \text{ м}$$

Максимальні напруги в перетині S_1 фланців від дії згинального моменту $M_{0\phi}$:

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$\sigma_{0\phi} = \psi_3 \cdot \frac{T_\phi \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_\phi}{D^* \cdot (S_1 - c)^2} \quad (3.2.48)$$

де ψ_3 – допоміжний коефіцієнт;

T_ϕ - безрозмірний параметр фланців;

$M_{0\phi}$ - розрахунковий наведений момент в діаметральному перетині фланця;

ω_ϕ - безрозмірний параметр;

D^* - розрахунковий діаметр, м;

S_1 - товщина втулки фланця, м;

c – прибавка на корозію, м.

$$\sigma_{0\phi} = 1 \cdot \frac{1,879 \cdot 0,0378 \cdot 0,797}{1,4 \cdot (0,018 - 0,003)^2} = 179,7 \text{ МПа}$$

Максимальні кільцеві напруження в дисках фланців від дії згинального моменту $M_{0\phi}$:

$$\sigma_{к\phi} = \frac{M_{0\phi} \cdot (1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_\phi)) \cdot \psi_2}{D \cdot h_\phi^2} \quad (3.2.49)$$

де ψ_2 – допоміжний коефіцієнт;

$M_{0\phi}$ - розрахунковий наведений момент в діаметральному перетині фланця;

ω_ϕ - безрозмірний параметр;

D – діаметр апарату, м;

h_ϕ - висота втулки фланця, м;

$\lambda_\phi = 0,22$ – допоміжний коефіцієнт.

$$\sigma_{к\phi} = \frac{0,0378 \cdot (1 - 0,797 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,22)) \cdot 23,6}{1,4 \cdot 0,032^2} = 28,1 \text{ МПа}$$

Кільцеві меридіональні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{х\phi} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} \quad (3.2.50)$$

де D – діаметр апарату, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м;

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

c – прибавка на корозію, м;

P – тиск в апараті, МПа.

$$\sigma_{x\phi} = \frac{0,229 \cdot 1,4}{2 \cdot (0,012 - 0,003)} = 17,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{y\phi} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_0 - c)} \quad (3.2.51)$$

$$\sigma_{y\phi} = \frac{0,229 \cdot 1,4}{4 \cdot (0,012 - 0,003)} = 8,9 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруги в перетині S_0 :

$$\sigma_{E\phi} = \sqrt{(\sigma_{0\phi} + \sigma_{y\phi})^2 + \sigma_{x\phi}^2 - (\sigma_{0\phi} + \sigma_{y\phi}) \cdot \sigma_{x\phi}} \quad (3.2.52)$$

де $\sigma_{0\phi}$ - максимальні напруги в перетині S_0 фланців, МПа;

$\sigma_{y\phi}, \sigma_{x\phi}$ - кільцеві меридіональні напруги, МПа.

$$\sigma_{E\phi} = \sqrt{(179,7 + 17,8)^2 + 7,69^2 - (179,7 + 8,9) \cdot 17,8} = 188,9 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{E\phi} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_0}] \varphi \quad (3.2.53)$$

188,9 МПа < (400 · 0,9 = 360 МПа) – умова виконана

Умова герметичності фланцевого з'єднання:

$$\frac{\sigma_{к\phi} \cdot D}{2 \cdot E_{\phi} \cdot h_{\phi}} \leq [\theta]; \quad (3.2.54)$$

де $[\theta] = 0,009$ рад - допустимий кут повороту фланця [14];

$\sigma_{к\phi}$ - максимальні кільцеві напруги в дисках фланців від дії згинального моменту, МПа;

D – діаметр апарату, м;

$E_{\phi 1}$ – модуль пружності для фланців, МПа;

h_{ϕ} – висота втулки фланця, мм.

$$\frac{\sigma_{к\phi} \cdot D}{E_{\phi} \cdot h_{\phi}} = \frac{28,1 \cdot 1,4}{1,92 \cdot 10^5 \cdot 0,032} = 0,0064 \text{ рад}$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$\theta = 0,0064 < [\theta] = 0,009$ рад – умова виконана

Остаточно приймаємо Фланець 1-1400-1-0-35 ГОСТ 28759.2-90.

3.3 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОПОРИ КОЛОНИ

3.3.1 Маса рідини в апараті в робочому стані.

$$M_{\text{рід}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{рід}} \quad (3.3.1)$$

де D – діаметр апарату, м;

$H_{\text{к}}$ – висота робочої частини колони, м;

$\rho_{\text{рід}}$ – густина рідини, кг/м³.

$$M_{\text{рід}} = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 16,4 \cdot 863,1 = 21778,6 \text{ кг}$$

3.3.2 Маса насадки

Приймаємо керамічні кільця Рашига, укладені рядами. Об'єм насадкового шару:

$$V_{\text{нас}} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot H_{\text{нас}} \quad (3.3.2)$$

де D – діаметр колони, м;

$H_{\text{нас}}$ – висота шару насадки в колоні, м.

$$V_{\text{нас}} = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 10,7 = 16,46 \text{ м}^3$$

Маса насадкового шару:

$$M_{\text{нас}} = V_{\text{нас}} \cdot m_{\text{нас}} \quad (3.3.3)$$

де $V_{\text{нас}}$ – об'єм насадкового шару, м³;

$m_{\text{нас}}$ – маса насадки, кг.

$$M_{\text{нас}} = 16,46 \cdot 785 = 12921,1 \text{ кг}$$

3.3.3 Маса обичайки апарату:

$$M_{\text{об}} = H_{\text{к.ц.}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ((D_{\text{а}} + 2 \cdot S)^2 - D_{\text{а}}^2) \cdot \rho_{\text{ст}} \quad (3.3.4)$$

де $H_{\text{к.ц.}}$ – висота циліндричної частини колони, м;

$D_{\text{а}}$ – діаметр апарату, м;

S – товщина стінки, м;

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

$\rho_{ст}$ – щільність сталі, кг/м³.

$$M_{об} = 15,6 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot ((1,4 + 2 \cdot 0,01)^2 - 1,4^2) \cdot 7850 = 5421,8 \text{ кг}$$

3.3.4 Маса еліптичних кришок (згідно ГОСТ 6533-78) – 183,6 кг.

3.3.5 Загальна маса апарату:

$$M_{кол} = (M_{рід} + M_{нас} + M_{об} + 2 \cdot M_{ел}) \cdot 1,2 \quad (3.3.5)$$

де $M_{рід}$ – маса рідини в апараті в робочому стані, кг;

$M_{тар}$ – маса тарілок, кг;

$M_{об}$ – маса циліндричної обичайки, кг;

$M_{ел}$ – маса еліптичних кришок.

$$M_{кол} = (21778,6 + 12921,1 + 5421,8 + 183,6 \cdot 2) \cdot 1,15 = 46562 \text{ кг}$$

3.3.6 Вага всього апарату:

$$G = M_{кол} \cdot g \quad (3.3.6)$$

де $M_{кол}$ – маса колони, кг.

$$G = 46562 \cdot 9,81 = 456773,22 \text{ Н} \approx 0,457 \text{ МН}$$

Приймаємо стандартну опору «Опора 4-1400-1-0,8-2500 АТК 24.200.04-90», яка має наступні параметри:

$$D_3 = 2300 \text{ мм}; D_2 = 2180 \text{ мм}; D_1 = 2000 \text{ мм}; S_1 = 8 \text{ мм}; S_2 = 25 \text{ мм};$$

$$S_3 = 25 \text{ мм};$$

Кількість болтів – 16 шт.;

Діаметр різьби фундаментних болтів – 60 мм;

Маса опори – 1641 кг.

Тоді, загальна маса пустої колони:

$$m_K = (1641 + 12921,1 + 183,6 \cdot 2 + 5421,8) \cdot 1,15 = 23403,8 \text{ кг}$$

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

4. МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТА

4.1 МОНТАЖ АПАРАТА

Приймаємо монтаж методом нарощування (або монтаж укрупненими блоками). При монтажі укрупненими блоками після установки в проектне положення чергового блоку проводиться монтаж насадки, металоконструкцій, обслуговуючих площадок. Після цього монтується наступний блок.

Після установки на фундаменті насадковий апарат вивіряють по висоті і вертикальності, після чого закріплюють фундаментними болтами. Від точності установки апаратів по вертикалі багато в чому залежить ефективність роботи насадки масообмінних колон (чіткість поділу продуктів переробки на компоненти при ректифікації) [12].

Для вирівнювання апаратів по вертикалі використовують такелажне оснащення (в тому числі клинові і гвинтові домкрати), підкладки та клини, заздалегідь встановлені під опорне кільце апарату. Якщо в проекті колони для її вивірки передбачені настановні (віджимні) гвинти, то підкладки при вивірці не застосовують. Регулюючі ніжки угвинчують в опори апаратів. Торці гвинтів упирають в пластини, укладені горизонтально на поверхню фундаменту [12].

Допустимі відхилення утворюють апаратів від вертикальності для колон без внутрішніх пристроїв і для насадкових колон - 0,03% висоти апарату, але не більше 35 мм. Допустимі відхилення апарату від вертикальності при $H/D < 5$ можуть бути вказані в робочих кресленнях [12].

У насадкових колонах вільно лежачі гратчасті тарілки (колосникові решітки) з керамічної насадкою монтують після установки апарата в вертикальне положення. Для впорядкованого розташування насадки її укладають вручну. При неупорядкованому розташуванні насадки її завантажують в такий спосіб. Апарат наповнюють водою до верхнього люка і зверху висипають насадку з бака в воду. У міру наповнення колони насадкою воду зливають через нижній штуцер

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

колони. При упорядкованому розташуванні насадки її укладають вручну [12].

4.2 РЕМОНТ АПАРАТА

Підготовка до ремонту [13]:

1) Відключити апарат від діючої системи і від джерел живлення електроенергією (тобто, закрити запірну арматуру на всіх підвідних і відвідних трубопроводах, штуцерах, приладів КВП і автоматики);

2) Скинути тиск (на факел, аварійну ємність, в каналізацію і потім відкрити арматуру на "воздушки");

3) Продути апарат (азотом, водяною парою, повітрям) і промити гарячою водою або конденсатом водяної пари з наступною продувкою;

4) Встановити заглушки на всіх підвідних і відвідних трубопроводах з фіксацією в спеціальному журналі;

5) Розкрити апарат. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу слід подавати водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Не можна також відкривати спочатку нижній люк, а потім верхній люк, так як за рахунок різниці температур відбувається сильна притока повітря в колону.

Після відкриття люків колони деякий час провітрюється в результаті природної конвекції повітря.

Після розкриття колони проводиться дефектовка корпусу, внутрішніх пристроїв з використанням внутрішнього огляду, вимірювання залишкової товщини стінки за допомогою ультразвукових дефектоскопів, товщиномірів, перевірка на щільність зварних швів і фланцевих з'єднань [13].

При ремонті насадкових колон основну увагу необхідно приділяти чищенню внутрішніх пристроїв апарату і заміні насадок.

Очищення внутрішніх поверхонь - процес дуже трудомісткий і займає більшу частину часу, відведеного для ремонту. Залежно від характеру відкладень і необхідної чистоти застосовують такі способи очищення [13]:

а) холодне;

б) промивання холодною або гарячою водою;

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

- в) пропарювання паром;
- г) очищення розчинниками;
- д) механічними способами.

Очищення проводять 2 людини, одна з них знаходиться всередині колони, а друга - поза апарату і страхує та допомагає першій [13].

Механічне очищення здійснюється скребками, щітками, обробкою свинцевим або чавунним дробом діаметром 1-2 мм, наждаковими колами, піскоструминними апаратами.

Для отримання високої чистоти поверхню труять розчинами кислот (соляної, сірчаної, фосфорної) з добавками інгібіторів корозії. Використовують також спеціальні пасти, які наносяться на поверхню металу товщиною 1 - 2 мм на 30 - 40 хв, а потім змивають сильним струменем води [13].

Ремонт корпусу колони полягає в усуненні різного виду тріщин, вм'ятин, свищів, які з'явилися в результаті корозії металу, його втоми або механічних пошкоджень. Вм'ятини правлять ударами кувалди по мідній підкладці, іноді з підігрівом газовим пальником, якщо матеріал - вуглецева сталь. Леговану сталь гріти не можна, так як може змінитися структура металу. Невеликі тріщини в корпусі і в зварних швах заварюють електрозварюванням, для чого поверхню в зоні тріщини ретельно зачищають, попередньо вирубавши зубилом на ушкодженому місці У-образну борозенку. На кінцях тріщини просвердлюють отвори для запобігання її поширення [13].

Якщо тріщини довжиною більше 150 мм, або кілька поруч тріщин, то на пошкоджене місце накладають латку, на 100-150 мм більше розмірів пошкодженої ділянки. Матеріал і товщина латки повинні бути однаковими з матеріалом корпусу. При зварюванні нержавіючих сталей використовують відповідні електроди, флюси або ж зварювання проводять в середовищі інертних газів [13].

Патрубки можуть мати тріщини в зварних швах, викривлення, порушення герметичності у фланцевих з'єднаннях. Тріщини усувають переварінням зварних швів. Робочі поверхні фланців виправляють проточкою або заміною фланця. Несправні шпильки, болти і гайки замінюють [13].

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Охорона праці - це система збереження життя і здоров'я працівників в процесі трудової діяльності, що включає в себе правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

Небезпечними факторами на виробництві є [14]:

1. пожежонебезпека;
2. електричні (електричний струм, статична електрика);
3. концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
4. електромагнітні випромінювання;
5. вібрація;
6. освітлення;
7. шум.

Техніка безпеки при обслуговуванні ректифікаційної колони.

Ректифікаційні колони перед пуском повинні бути оглянуті, перевірена справність і готовність до роботи всіх пов'язаних з ними апаратів і трубопроводів, справність контрольно-вимірювальних приладів, регуляторів температури і тиску в колоні, вимірників рівня рідини в нижній частині колони, приймачах ректифікату, ректифікаційних ємностях і ємностях залишку [14].

Пуск ректифікаційної установки в роботу повинен проводитися строго в встановленій послідовності, яка повинна бути вказана в технологічній інструкції.

При роботі ректифікаційної колони необхідно безперервно контролювати параметри процесу і справність апарату.

Для вловлювання рідини, яка може бути викинута разом з парами і газами через запобіжний клапан, назовні на лінії за запобіжним клапаном слід мати сепаратор. Рівень рідини в сепараторі не повинен перевищувати встановленої межі. В зимовий час на відкритих установках не рідше одного разу в зміну

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

необхідно перевіряти стан колони, продуктопроводів, водяних ліній, дренажних відростків на паропроводах і апаратах, спускних ліній, тощо.

У цей період слід забезпечити безперервний рух в комунікації для запобігання їх розриву. Спускні і дренажні лінії, а також найбільш небезпечні ділянки для подачі води, лугів, інших замерзаючих рідин, повинні бути утеплені.

Необхідно стежити за тим, щоб пошкоджені ділянки теплоізоляції ректифікаційних колон і їх опор своєчасно ремонтувалися. Теплоізоляція повинна бути чистою, справної і виконана так, щоб при витоках не могли утворюватися приховані потоки рідини по корпусу.

Відкладення, що знімаються зі стінок при очищенні, необхідно складати в металевий посуд і видаляти з приміщення або з установки.

При виявленні витоку в ректифікаційних колонах необхідно подати водяну пару або азот до місць пропуску для запобігання можливого займання або утворення суміші вибухонебезпечних концентрацій.

Для захисту очей від впливів шкідливих і небезпечних виробничих факторів застосовують захисні окуляри. Основні види спецодягу: комбінезони, куртки, штани, костюми, халати тощо [14].

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

ВИСНОВКИ

В цій бакалаврській роботі розглянута технологія виробництва метанолу. Основна увага зосереджена на стадії ректифікації суміші метанол-вода та основному апараті – насадковій ректифікаційній колоні.

Розглянуто теоретичні основи процесу ректифікації. Описано характеристики готового продукту у вигляді метанолу. Розглянута ректифікаційна установка та описано принцип її роботи. Розглянута конструкція насадкових ректифікаційних колон. В рамках літературного огляду були розглянуті види насадок та була обрана насадка у вигляді керамічних кілець Рашига.

Проведено технологічні розрахунки апарату. Розраховано матеріальний баланс та технологічні показники процесу. Побудовано криві рівноваги та діаграма $t-x,y$ для суміші метанол-вода. Розраховано основні геометричні параметри колони. Розраховано гідравлічний опір колони. Підбрано допоміжне обладнання: відцентровий насос для подачі початкової суміші та теплообмінник для кип'ятіння початкової суміші.

Розраховано товщину стінки обичайки колони. Підбрано спідничну стандартну опору. Перевірена герметичність фланцевих з'єднань.

Описано правила монтажу та ремонту насадкової ректифікаційної колони, розглянуто аспекти охорони праці.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А.Г.Касаткин «Основные процессы и аппараты химической технологии» - М.:Химия, 1973-784с.
2. А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган «Процессы и аппараты химической технологии», М.: Химия, 1968-848с;
3. И.А. Александров «Массопередача при ректификации многокомпонентных смесей», -Л.: Химия, 1975-319с.
4. С.А. Багатуров «Основы теории и расчета ректификации», -М.: Химия, 1974439с.
5. М.М.Караваяев, В.Е.Леонов, И.Г. Попов, Е.Т.Шепелев. Технология синтетического метанола. — Москва: Химия, 1984. — 239 с.
6. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи./ И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский и др.; Под общ. ред. В.Н. Соколова – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 384 с.
7. Колонные аппараты. Каталог – справочник. М.: ЦИНТИ химнефтемаш, 1978.
8. «Машины и аппараты химических производств»/ И. И. Поникаров, О. А. Перельгин, В. Н. Доронин, М. Г. Гайнуллин. – М.: Машиностроение, 1989. – 268 с.: ил.
9. Лукашов В. К. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Процеси та апарати Хімічних виробництв» для спеціальності 7.091605. Шостка: ШИ Сум ГУ. - 2007. - 31с.
10. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
11. Михалева М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств примеры и задачи. - Ленинград: «Машиностроение», 1984. - 303 с.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

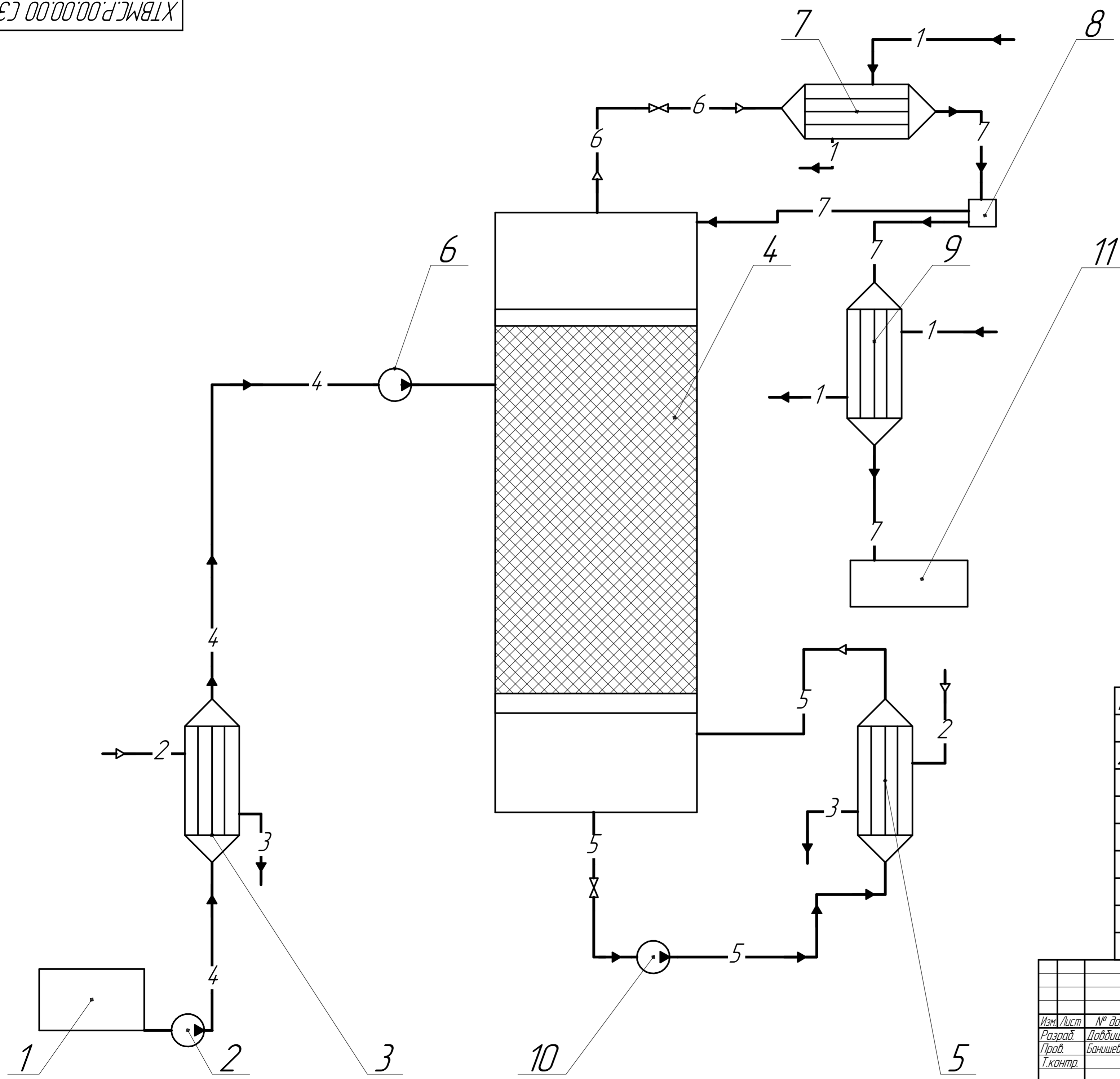
12. Поникаров И.И., Перелыгин О.А. и др. Машины и аппараты химических производств /И. И. Поникаров, О. А. Перелыгин, В. Н. Доронин, М. Г. Гайнуллин. — М.: Машиностроение, 1989. — 368 с: ил.

13. Ремонт оборудования [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://poznayka.org/s23537t1.html>.

14. Охрана труда и окружающей среды [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://studwood.ru/1546654/matematika_himiya_fizika/ohrana_truda_okruzhayushey_sredy.

					ХТВМС.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Перв. поимен.
Стород. №
Поди. и дата
Инд. № дидл.
Взам. инд. №
Поди. и дата
Инд. № подл.



Умовне позначення	Суміш у трубопроводі
1	Вода
2	Пара
3	Конденсат
4	Бінарна суміш
5	Кцдовий залишок
6	Дистиллят
7	Флегма

Позиція	Назва	Кількість
1	Ємність з вихідною сумішшю	1
2, 6, 10	Насос	3
3	Підігрівач	1
4	Ректифікаційна колона	1
5	Кип'ятильник	1
7	Дефлегматор	1
8	Розподільник	1
9	Холодильник	1
11	Ємність з ректифікатом	1

				XТВМС.Р.00.00.00 СЗ			
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Ректифікаційна установка Технологічна схема	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Ловдиль				у	-	-
Пров.	Бачишевський				Лист	Листов	1
Т.контр.					ШСумДУ гр. ХМ-71ш		
Н.контр.							Формат А2
Утв.							Копировал