

**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 ацетону. Тарілчаста ректифікаційна колона для розділу суміші ацетон-вода продуктивністю по ацетону 6000 т/рік.

Виконав:

студент групи ХМ-71ш

Малюженко Валентин Андрійович

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 Малюженко Валентину Андрійовичу.

Курс 4 Група ХМ-71ш Семестр 8

1. Тема роботи: Виробництво ацетону. Тарілчаста ректифікаційна колона для розділу суміші ацетон-вода продуктивністю по ацетону 6000 т/рік.

2. Вихідні дані:

Склад легколетючого компоненту у вихідній суміші 27%, у дистилаті – 95%, у кубовому залишку 3,5% (% масові)

3. Перелік необхідного графічного матеріалу (аркуші А1):

<u>Технологічна схема</u>	0,5 арк.
<u>Складальне креслення апарату</u>	1,0 арк.
<u>Додаткові види апарату</u>	1,5 арк.

4. Необхідна література:

Ю.И. Дытнерский. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.

5. Етапи виконання дипломного 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. _____.

ПІБ

підпис

ЗМІСТ

НАЗВА РОЗДІЛУ	С
РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ	6
1.2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ	7
1.3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	10
1.4 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНОГО АПАРАТУ	13
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ	17
2.1 МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ	17
2.2 КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ АПАРАТУ	24
2.3 ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР КОЛОНИ	35
2.4 ПІДБІР СТАНДАРТНОГО ОБЛАДНАННЯ	38
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ	43
3.1 РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ СТІНОК ОБИЧАЙКИ КОЛОНИ	43
3.2 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОПОРИ КОЛОНИ	46
3.3. РОЗРАХУНОК ГЕРМЕТИЧНОСТІ ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ	48
РОЗДІЛ 4 МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТУ	62
4.1 МОНТАЖ АПАРАТУ	62
4.2 РЕМОНТ АПАРАТУ	64
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	67
5.1 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В РЕКТИФІКАЦІЙНОМУ ЦЕХУ	67
5.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТІВ ЗА СТУПЕНЕМ НЕБЕЗПЕКИ, ТОКСИЧНОСТІ	69
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	71

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ			
Розробив	Малюженко				Кваліфікаційна робота бакалавра. Пояснювальна записка	Лит.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Банишевський						4	72
Реценз.						ШІСумДУ		
Н. Контр.						гр. ХМ-71ш		
Затверд.								

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 ст., 13 рис., 2 табл., 20 літературних джерел.

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

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: «Виробництво ацетону. Тарілчаста ректифікаційна колона для розділу суміші ацетон-вода продуктивністю по ацетону 6000 т/рік».

Розглянуто теоретичні основи процесу ректифікації. Описано характеристики готового продукту у вигляді технічного ацетону. Зроблено літературний огляд технологій виробництва ацетону. Розглянута ректифікаційна установка та описано принцип її роботи. Розглянута конструкція тарілчастих ректифікаційних колон. В рамках літературного огляду була обрана ковпачкова тарілка, і розписано її переваги

При розрахунку апарату було враховано теоретичні основи процесу. Виконано конструктивні розрахунки, завдяки яким визначено основні габарити апарату. Виконано розрахунки на міцність, завдяки яким перевірено на міцність колони (розрахована товщина стінок апарату, підібрана опора та перевірена герметичність фланцевих з'єднань).

У ході роботи також були підібрані випарник для кубової рідини та дефлегматор для конденсації парів.

Розглянуто основні правила монтажу та ремонту апарату, обґрунтована охорона праці та техніка безпеки під час роботи в ректифікаційному цеху.

Ключові слова: РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, АЦЕТОН, КОВПАЧКОВА ТАРИЛКА, ТЕХНОЛОГІЯ, РОЗРАХУНОК.

ВСТУП

Для поділу суміші рідин зазвичай вдаються до перегонки. Поділ шляхом перегонки засноване на різній 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 (низько-киплячий компонент, скорочено НК) переходить в пару, а компонент з більш високою температурою кипіння (високо-киплячий компонент, скорочено ВК) залишається в рідкому стані. Отримані пари конденсуються, утворюючи так званий дистилат. Невипарувана рідина називається залишком [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.

На сьогодні перегонка і ректифікація широко поширені в хімічній технології і застосовуються для отримання різноманітних продуктів в чистому вигляді, а також для поділу газових сумішей після їх зрідження.

В рамках бакалаврської роботи розглядається технологія виробництва ацетону та основний процес цієї технології – ректифікація. Ректифікація - це процес розділення рідких сумішей на практично чисті компоненти, що відрізняються температурами кипіння, шляхом багатократного випаровування та конденсації рідини.

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

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ

Ацетон — найпростіша сполука гомологічного ряду аліфатичних кетонів. Формула $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ [1].

Ацетон отримують: при сухій перегонці дерева, розпадом ацетату кальцію, окисленням пропена, кумольним способом, окисленням ізопропілового спирту, гідратацією ацетилену водяним паром. Згідно джерела [2], «Ацетон - це безбарвна летка рідина з характерним запахом. Необмежено змішується з водою та полярними органічними розчинниками, також в обмежених пропорціях змішується з неполярними розчинниками.

Ацетон є цінним промисловим розчинником і завдяки невеличкій токсичності він отримав широке застосування у виробництві лаків, вибухових речовин, лікарських засобів. Він є вихідною сировиною в численних хімічних синтезах. В лабораторній практиці його застосовують як полярний апротонний розчинник, для приготування охолоджувальних сумішей разом із сухим льодом і аміаком, ацетон є дуже корисним для миття хімічного посуду».

Ацетон має відповідати вимогам ГОСТу 2768-84. Детальніше див. Таб.1.1

Таблиця 1.1 – Фізико-хімічні показники технічного ацетону [3].

Назва показнику	Норма		
	Вищий сорт	1-й сорт	2-й сорт
1. Зовнішній вигляд	Безбарвна прозора рідина		
2. Масова доля ацетону, %, не менше	99,75	99,5	99,0
3. Густина, г/см ³	0,789-0,791	0,789-0,791	0,789-0,792
4. Масова частка води, %, не більше	0,2	0,5	0,8
5. Масова частка метилового спирту, %, не більше	0,05	0,05	Не нормується
6. Масова частка кислот в перерахунку на оцтову кислоту, %, не більше	0,001	0,002	0,003
7. Стійкість до окислення марганцевокислим калієм, год., не менше	4	2	0,75

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

1.2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ

Ректифікація - це процес поділу рідких сумішей, який зводиться до багаторазового чергуванню процесів випаровування і конденсації. Процес заснований на тому, що рідини, що становлять суміш, володіють різною пружністю парів. Іншими словами, ректифікацію можна трактувати як поєднання процесів багаторазової дистиляції і багаторазової парціальної конденсації при протivotоці потоків пари і рідини.

Вихідну суміш підігривають до температури кипіння, і потім через гребінку подають в близько розташовані ділянки всередині колони на тарілці. Висхідний потік пара при кожному контакті з стікаючою рідиною збагачується низько-киплячим компонентом. Пар іде з верхнього перетину колони з переважним вмістом низько-киплячого компонента, а з кубової частини колони відводиться кубова рідина, збагачена високо-киплячим компонентом. Отже, в ректифікаційній колоні відбувається безперервний процес поділу вихідної бінарної суміші а дистилят і кубовий залишок. Для більш повного збагачення верхньої частини колони зрошують рідиною, яка називається флегмою, одержувану в результаті конденсації пари в дефлегматорі.

Ректифікацію можна проводити періодичним або безперервним способом.

При періодичній ректифікації (рис. 1.2.1) вихідну суміш періодично завантажують в куб-кип'ятельник 1, де доводять до кипіння. Пара, що утворюється, піднімається по колоні 2, в якій відбувається протитечійна взаємодія цих парів з рідиною (флегмою), що надходить з дефлегматора 3. Частина конденсату після дільника потоку 4 повертається в колону у вигляді флегми, інша частина - дистилят - через холодильник 5 збирається в збірниках 6,7 у вигляді окремих фракцій. Процес ректифікації закінчують зазвичай після того, як буде досягнуто заданий середній склад дистиляту.

У міру протікання процесу умови роботи установки поступово змінюються. На початку процесу в колону надходить з куба пара, багата на низько-киплячий компонент. У цей період потрібно порівняно невелика кількість флегми, щоб виділити з парів високо-киплячий компонент. В ході процесу

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

виходяча з кубу пара буде все більш збагачуватися високо-киплячим компонентом, і для виділення його з пари кількість флегми має бути збільшена. Якщо ж кількість флегми залишити постійною, буде зростати зміст ВК в дистилаті.

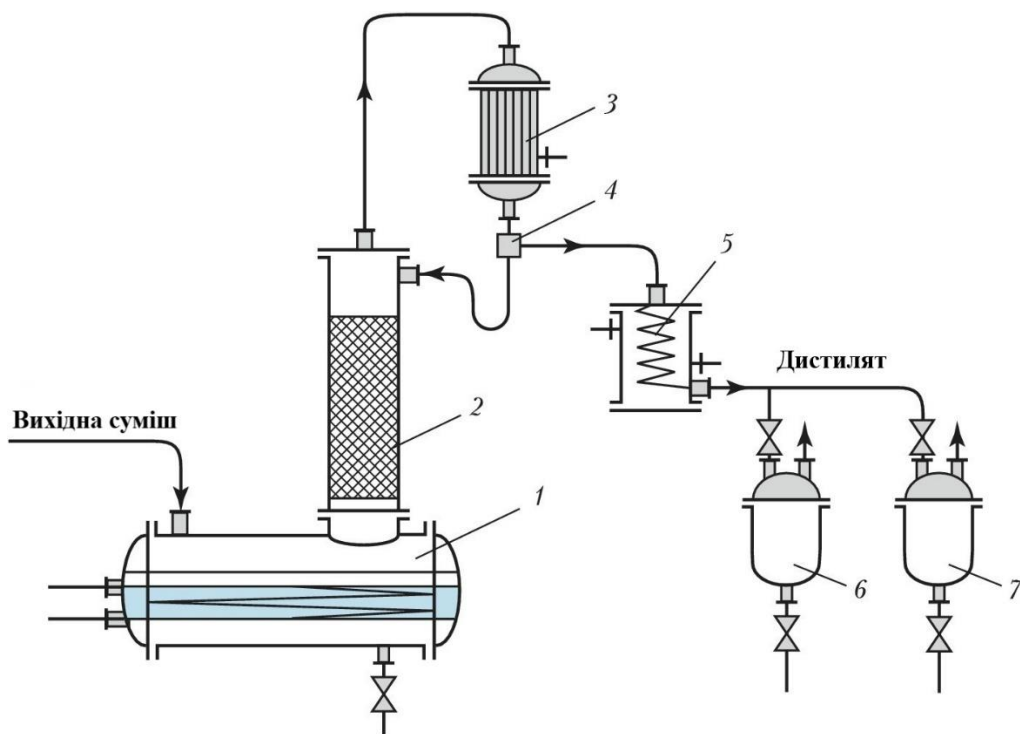


Рис. 1.2.1 Схема ректифікаційної установки періодичної дії:

1 - куб; 2 - колона ректифікації; 3 - дефлегматор; 4 - дільник потоків; 5 - холодильник; 6, 7 - збірники.

При безперервній ректифікації (рис. 1.2.2) суміш подається в середню частину колони через теплообмінник, що обігривається залишком або паром. У верхній частині колони, розташованій вище точки введення суміші, відбувається зміцнення пари. У нижній частині колони, розташованій нижче точки введення суміші, відбувається вичерпування рідини. З вичерпної частини колони рідина стікає в кип'ятильник (куб) 2, що обігривається паром. У кип'ятильнику утворюється пара, що піднімається вгору по колоні; залишок безперервно відводиться з куба. Пара, що виходить зі зміцнювальної частини колони, надходить в дефлегматор 3, звідки флегма повертається в колону, а дистилат прямує в холодильник.

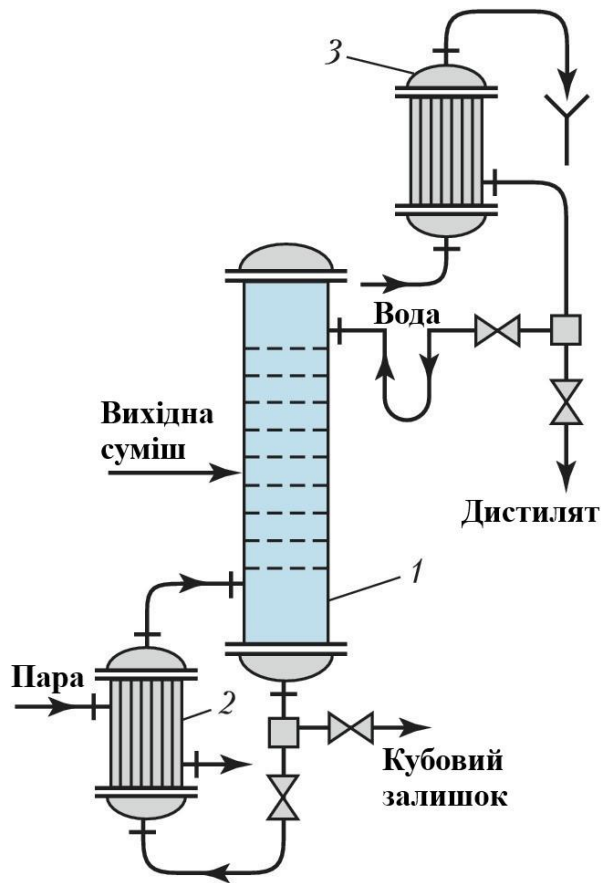


Рис. 1.2.2 - Схема ректифікаційної установки безперервної дії:
 1 - ректифікаційна колона; 2 - кип'ятильник; 3 - дефлегматор.

Переваги безперервної ректифікації в порівнянні з періодичної:

- умови роботи установки не змінюються в ході процесу, що дозволяє встановити точний режим, спрощує обслуговування і полегшує автоматизацію процесу;
- відсутні простоя між операціями, що призводить до підвищення продуктивності установки;
- витрата тепла менше, причому можливе використання тепла залишку на підігрів вихідної суміші в теплообміннику.

Завдяки перерахованим перевагам, в виробництвах великого масштабу застосовують безперервну ректифікацію. Періодична ректифікація знаходить застосування лише в невеликих, нерівномірно працюючих виробництвах.

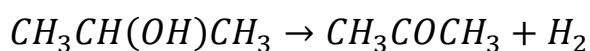
Отже, для виробництва ацетону обираємо безперервну ректифікацію.

1.3. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Існує декілька методів отримання ацетону.

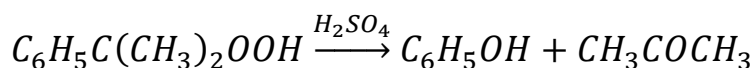
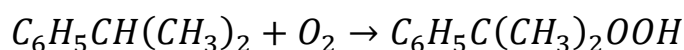
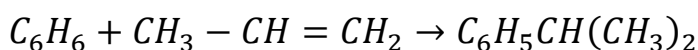
Найстаріший метод промислового виробництва ацетону полягав у сухій перегонці ацетату кальцію, який утворюється при нейтралізації вапном деревного оцту, який утворюється при коксуванні деревини. Зараз цей метод вже не застосовується, оскільки ацетон в цьому випадку містить занадто багато домішок, а вихідний матеріал дефіцитний».

Одним із головних методів у сучасності одержання ацетону є дегідрогенізація ізопропілового спирту [8, с. 152]:

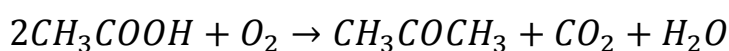


Дегідрогенізація протікає при 350—400°C в присутності таких каталізаторів, як залізо-мідь-цинк, оксид цинку або оксид цинку з 4,5% карбонату натрію, мідь, свинець та інші. Внаслідок ендотермічного характеру реакції процес ведуть в трубчастому реакторі, вузькі довгі трубки якого обігріваються димовими газами.

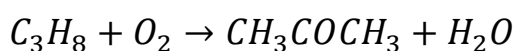
Існує також технологія кумол-гідропероксидного способу. Це багатостадевий процес, який також активно застосовується у промисловості. Він складається із наступних реакцій [9]:



Ацетон також добувається каталітичним розкладом парів оцтової кислоти при підвищеній температурі на церієвому каталізаторі (400—450°C) [10]:



Нарешті, можна отримати ацетон каталітичним окисненням пропану при температурі 400°C:



Таким чином, в якості технології виробництва можна обрати технології каталітичного окиснення пропану та каталітичного розкладу парів оцтової

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

кислоти, оскільки фінальною їх стадією є ректифікація суміші ацетону з водою (див. хімічні формули процесу).

Розділення ацетоно-водної суміші відбувається в ректифікаційній колонні. Процес в ректифікаційному цеху наведено на рис. 1.3.1.

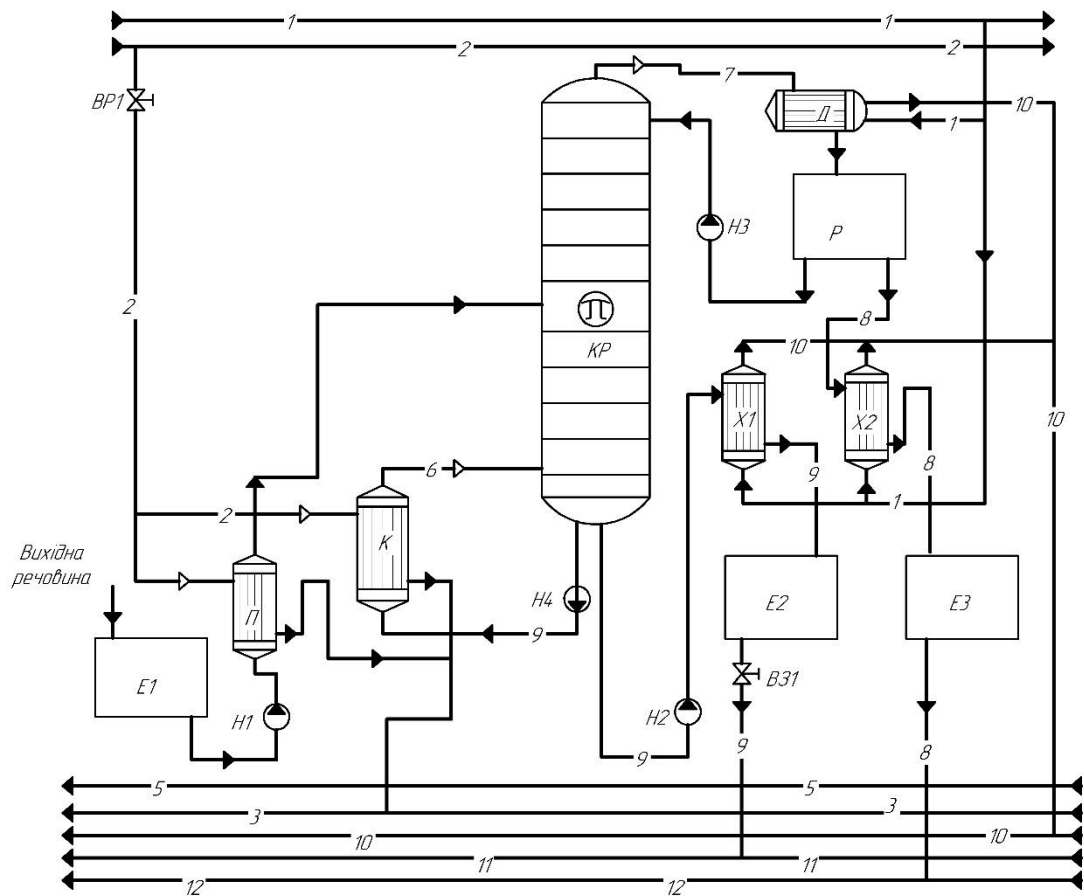


Рис. 1.3.1 – Схема ректифікаційної установки

Вихідна суміш з проміжної ємності E1 відцентровим насосом H1 подається в підігрівач, де підігрівається до температури кипіння насиченою водяною парою та йде в середню частину колонни. Нагріта суміш надходить на поділ в колону ректифікації на тарілку живлення, де змішується з флегмою зі зміцнюючої частини колони. Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з піднімаючою вгору парою, що утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику. В результаті цього з рідини видаляється легколетючий компонент. Пар, збагачений НК, піднімається вгору по колоні і надходить в дефлегматор. З дефлегматора сконденсований пар надходить в розподільну ємність (P), де конденсат розділяється на два потоки: один (флегма) повертається на зрошення колони,

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

другий (дистилят) надходить в холодильник (X2) дистиляту і далі в проміжну ємність (E3). З кубу частина залишку подається до холодильника (X1) після чого виводиться, а частина надходить до кип'ятиньника, після чого повертається до кубової частини на повторний процес.

Живильна тарілка ділить колону на дві частини, які мають різне призначення. У верхній частині повинно бути забезпечено якомога більшу зміцнення пари, тобто збагачення їх легколетючий компонент, щоб в дефлегматор прямували пари, близькі за складом до ЛЛК. Тому дана частина колони називається зміцнюючою. У нижній частині необхідно в максимальній мірі видалити ВЛК (важколетючий компонент), щоб в кип'ятильник стікала рідина, близька за складом до ВЛК. Відповідно ця частина колони називається вичерпною.

Таким чином, в ректифікаційній колоні здійснюється безперервний нерівномірний процес поділу вихідної бінарної суміші на дистилят з високим вмістом легколетючого компонента і кубовий залишок, збагачений важколетючим компонентом. Пар, який представляє собою на виході з кип'ятильника майже чистий ТЛК, у міру руху вгору все більш збагачується легколетючим компонентом і залишає верхню тарілку колони у вигляді майже чистого ЛЛК, який практично повністю переходить в парову фазу шляхом від кип'ятильника до верху колони.

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

1.4 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВНОГО АПАРАТУ

Об'єкт для розрахунків – тарілчаста ректифікаційна колона.

Найважливішим елементом тарілчастої ректифікаційної колони є тарілка, оскільки саме на ній відбувається взаємодія пари з рідиною. Конструкції тарілок ректифікаційних колон різноманітні. Розглянемо коротко основні з них [11].

Ковпачкові тарілки (рис. 4.1) широко застосовуються в промисловості. Використання ковпачків забезпечує хороший контакт між парою і рідиною, ефективне перемішування на тарілці і інтенсивний масообмін між фазами. За формою ковпачки можуть бути круглими, багатограними і прямокутними, а самі тарілки - одно- і багатоконвпачковими [11].

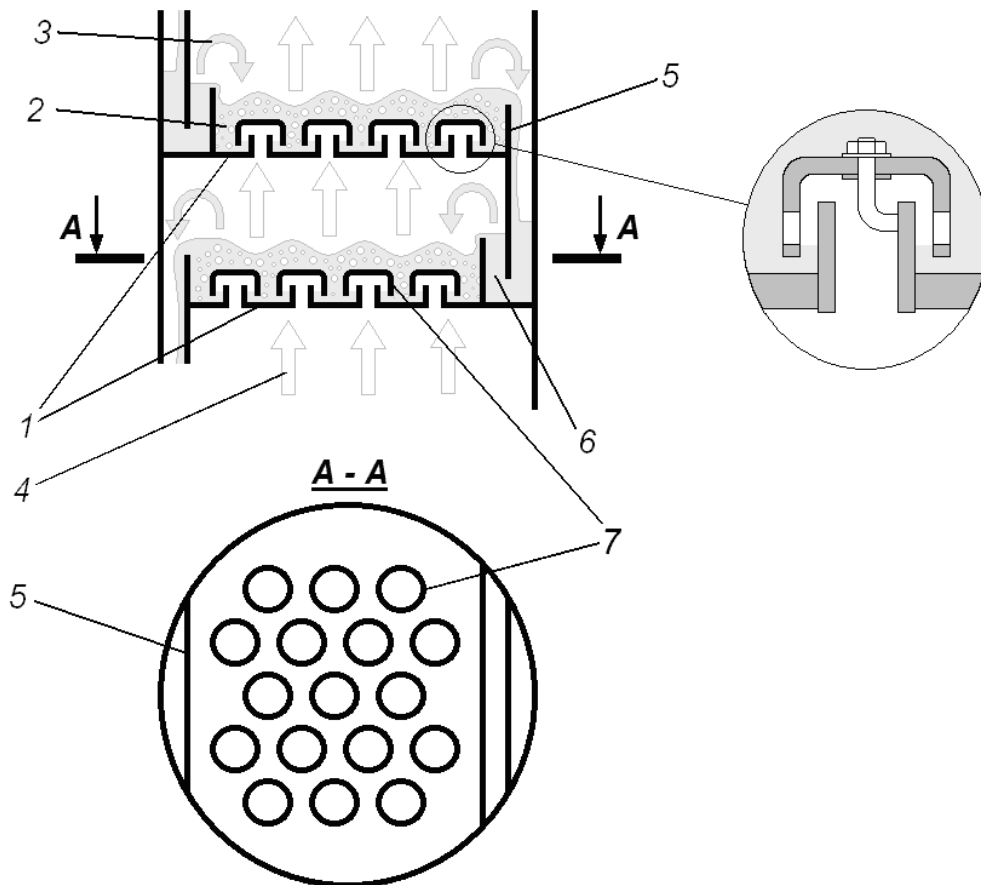


Рис. 1.4.1 - Схема роботи ковпачкової тарілки:

1 - тарілки, 2 - барботажний шар (піна), 3 - потік рідини, 4 - потік газу, 5 – переливний поріг, 6 - гидрозатвор, 7 - ковпачки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Сітчаста тарілка показана на рис. 1.4.2. Тарілка має велику кількість отворів малого діаметра (від 0,8 до 3 мм). Тиск пари і швидкість її проходу через отвори повинні знаходитися у відповідності з тиском рідини на тарілці: пара повинна долати тиск рідини і перешкоджати її витоку через отвори на нижню тарілку. Тому сітчасті тарілки вимагають відповідного регулювання і дуже чутливі до зміни режиму. У разі зменшення тиску пари рідина з сітчастих тарілок йде вниз. Сітчаста тарілка чутлива до забруднень (осадів), які можуть забивати отвори, створюючи умови освіти підвищених тисків. Все це обмежує їх застосування [11].

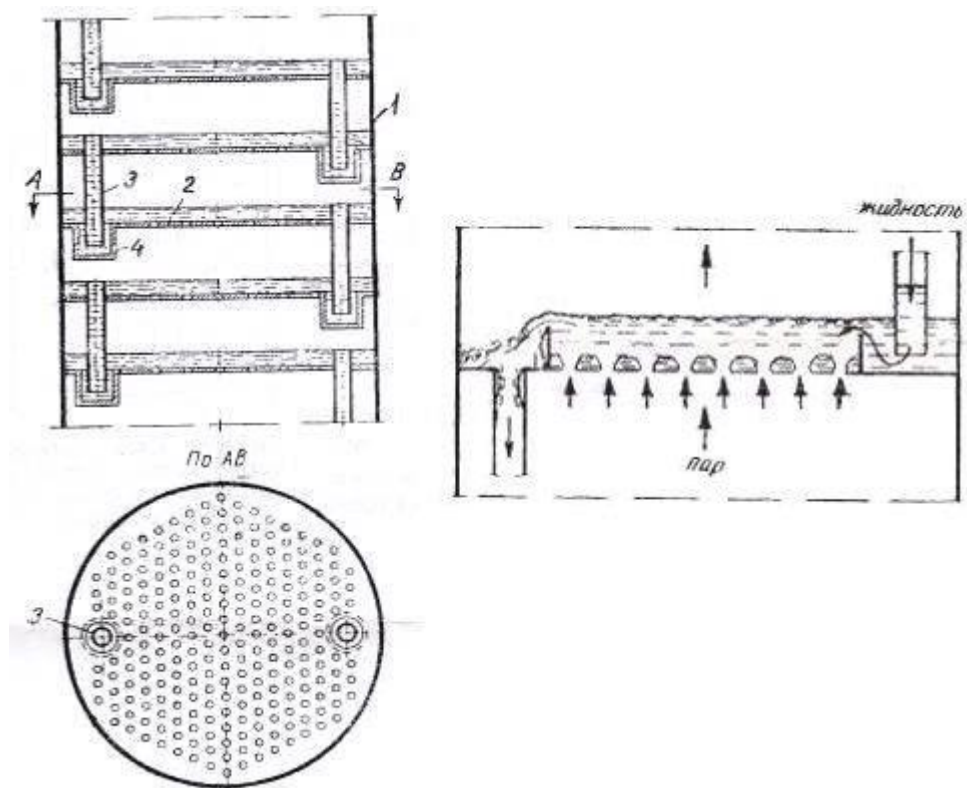


Рис. 1.4.2 - Схема пристрою сітчастої колони:

1 - корпус; 2 – сітчасті тарілки; 3 - переливна трубка; 4 стакан

Стабільність роботи тарілки можна підвищити, якщо забезпечити отвори клапанами, завдяки яким запобігається стікання рідини з тарілки і регулюється швидкість газу. Такі тарілки називають *клапанними* (рис. 4.3) [11].

Принцип роботи круглого клапана полягає в тому, що диск клапана, вільно лежить над отвором, піднімається і опускається в залежності від швидкості газу,

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

і, таким чином, за рахунок власної сили тяжіння автоматично регулює величину зазору між тарілкою і клапаном. Максимальна висота підйому диска визначається обмежувачами. Зазвичай ця висота не перевищує 8 мм. Клапани мають діаметр 45-50 мм. Обмежувачі круглих клапанів виконуються зазвичай у вигляді 3-4 напрямних «ніжок» та кріпляться або до самого диску клапана, або до тарілки навколо диска [11].

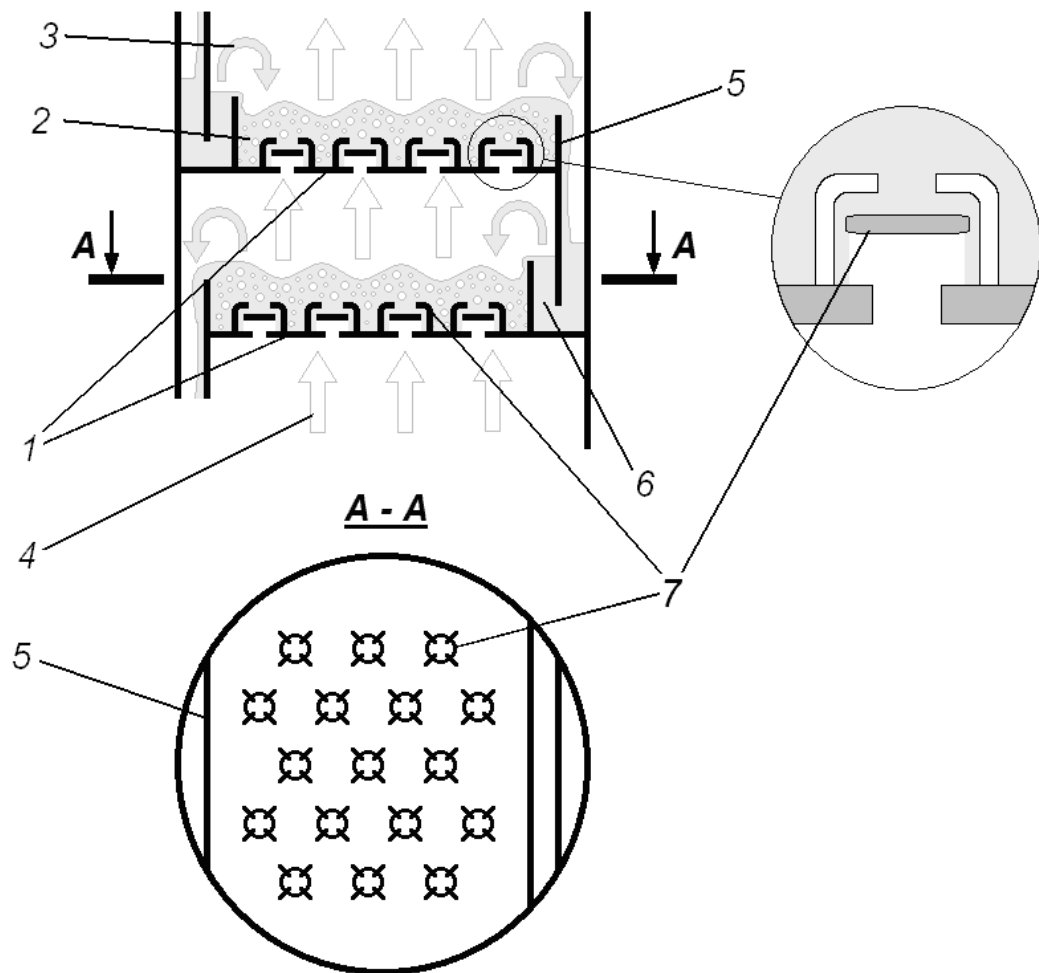


Рис. 1.4.3 - Схема роботи клапанної тарілки:

1 - тарілки, 2 - барботажний шар (піна), 3 - потік рідини, 4 - потік газу, 5 - переливної поріг, 6 - гідрозатвор, 7 - клапани

Найбільш поширений в промисловості вид провальних тарілок - ґратчасті тарілки. Ґратчасті (провальні) тарілки (рис. 1.4.4) мають отвори в вигляді фрезерованих або штампованих щілин шириною 3-8 мм. Ґратчасті тарілки малого діаметра (до 800 мм) виготовляють з одного листа, а ґратчасті тарілки

великого діаметру (від 1000 мм) виготовляють з кількох листів, що кріпляться зазвичай на кутові балки [12].

Провальні тарілки використовуються в ректифікації в тих випадках, коли з якихось причин неможливо використання насадкових апаратів [12].

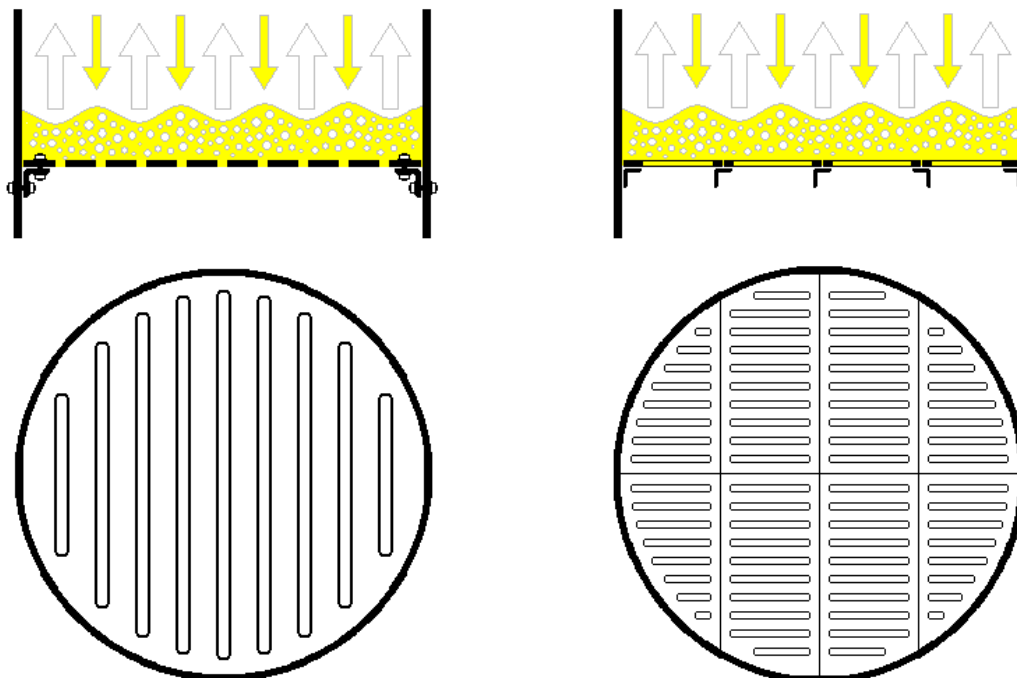


Рис. 1.4.4 - Ґратчасті (провальні) тарілки:
а - малого діаметру, б - великого діаметра

Аналізуючи всі найпоширеніші види тарілок, приймаємо ковпачкові тарілки, оскільки вони:

- 1) перевершують сітчасті і ґратчасті тарілки по площі поверхні контакту фаз в барботажному шарі, рідина не стікає через отвори навіть при низькій витраті газу;
- 2) перевершують сітчасті і ґратчасті тарілки по ширині інтервалу робочих швидкостей газу;
- 3) при відносно малій продуктивності (6000 т/рік), затрати на матеріал будуть невеликими, як і гідравлічний опір.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТУ

Згідно умови, маємо продуктивність 6000 т/рік по ацетону. Для зручності переведемо цю величину у продуктивність в кг/год.

Приймаємо 365 днів у році. З них, вираховуємо:

1. 11 днів – свята;
2. 20 днів – простої через технічний огляд та ремонтні роботи;
3. 104 дні – вихідні дні.

Тоді, маємо:

$$G_{\text{доб}} = \frac{6000}{365 - (104 + 20 + 11)} = 26 \text{ т/добу}$$

Приймаємо 2 зміни по 6 год, що сумарно складає 12 год на добу. Тоді, годинна продуктивність по ацетону:

$$G_{\text{год}} = \frac{26}{12} = 2,17 \frac{\text{т}}{\text{год}} = 2170 \text{ кг/год}$$

Приймаємо наступні дані згідно завданню:

Вміст легко летучого компонента в початковій суміші $X_F = 27\%$ (мол.), в дистилляті $X_p = 95\%$ (мол.), кубовому залишку $X_w = 3,5\%$ (мол.). Початкова суміш перед подачею в колону підігрівається до температури кипіння.

2.1 МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ

Формули для розрахунків взяті із джерела [13].

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

Молекулярна маса суміші:

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

де $M_A = 58$ кг/моль – молекулярна маса ацетону;

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

x – вміст легко летучого компонента.

Концентрація суміші:

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

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

де M_A – молекулярна маса ацетону, кг/моль;

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

x – вміст легко летучого компонента.

Вихідна суміш:

$$M_{\text{сум}} = 58 \cdot 0,27 + 18 \cdot (1 - 0,27) = 28,8 \text{ кг/кмоль}$$

$$\bar{x}_F = \frac{58 \cdot 0,27}{28,8} = 0,544$$

Дистилят:

$$M_{\text{сум}} = 58 \cdot 0,95 + 18 \cdot (1 - 0,95) = 56 \text{ кг/кмоль}$$

$$\bar{x}_P = \frac{58 \cdot 0,95}{56} = 0,983$$

Кубовий залишок:

$$M_{\text{см}} = 58 \cdot 0,035 + 18 \cdot (1 - 0,035) = 19,4 \text{ кг/кмоль}$$

$$\bar{x}_W = \frac{58 \cdot 0,035}{19,4} = 0,105$$

Складання матеріального балансу. Визначення кількості дистиляту та кубового залишку:

$$L_p + L_w = L_f;$$

$$\bar{x}_P L_p + \bar{x}_W L_w = \bar{x}_F L_f;$$

$$0,97 \cdot 2170 + 0,105 \cdot L_w = 0,544 \cdot L_f;$$

$$L_w = L_f - 2170;$$

$$0,97 \cdot 2170 + 0,105 \cdot (L_f - 2170) = 0,544 \cdot L_f;$$

$$2104,9 + 0,105 \cdot L_f - 227,85 = 0,544 \cdot L_f;$$

$$0,105 \cdot L_f - 0,544 \cdot L_f = -2104,9 + 227,85;$$

$$-0,439 L_f = -1877,05$$

$L_f = 4275,74$ кг/год - продуктивність по вихідній суміші

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

$L_w = 4275,74 - 2170 = 2105,74$ кг/год – продуктивність по кубовому залишку;

$L_p = 2170$ кг/год – продуктивність по дистилляту (початкові дані).

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

1. Визначаємо температури кипіння ацетону і води:

$t_{\text{кип.А}} = 56^\circ\text{C}$ – низько – киплячий компонент (НК);

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

2. Розбиваємо інтервал температур від 56°C до 100°C на ряд дрібних інтервалів. Необхідно відзначити, що чим менше крок, тим вище точність побудови. Зазвичай рекомендується не менше десяти інтервалів [14, с.818].

x	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
y	0	60,3	72	80,3	82,7	84,2	85,5	86,9	88,2	90,4	94,3	100
t	100	77,9	69,6	64,5	62,6	61,6	60,7	59,8	59	58,2	57,5	56,9

Відносний мольний розхід постачання:

$$F = \frac{X_p - X_w}{X_f - X_w} \quad (2.1.3)$$

де X_f, X_p, X_w - вміст легко летучого компонента в початковій суміші, в дистилляті та кубовому залишку відповідно,

$$F = \frac{0,95 - 0,035}{0,27 - 0,035} = 3,89$$

Мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{X_p - Y_f^*}{Y_f^* - X_f} \quad (2.1.4)$$

де X_f, X_p - вміст легко летучого компонента в початковій суміші та в дистилляті відповідно, %мол.

Y_f^* - мольна доля ацетону в паровій фазі, яка знаходиться в рівновазі з рідиною постачання, визначається по діаграмі у-х (див. рис. 2.1.1).

												Арк.
												19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ							

$$R_{min} = \frac{0,95 - 0,82}{0,82 - 0,27} = 0,24$$

Робоче флегмове число.

$$R = \beta \cdot R_{min} \quad (2.1.5)$$

де $\beta = 1,5$ - коефіцієнт надлишку флегми, визначається на підставі досліджених даних, зазвичай $\beta = 1,3 \dots 3$;

R_{min} – мінімальне флегмове число.

$$R = 1,5 \cdot 0,24 = 0,36$$

Рівняння робочої лінії верхньої (укріплювальної) частини колони:

$$Y = \frac{Rx}{R+1} + \frac{X_p}{R+1} = \frac{0,36x}{0,36+1} + \frac{0,95}{0,36+1} = 0,265x + 0,69$$

Рівняння робочої лінії нижньої (вичерпної) частини колони:

$$Y = \frac{(R+F) \cdot x}{R+1} - \frac{(F-1) \cdot X_w}{R+1} = \frac{(0,36+3,89) \cdot x}{0,36+1} - \frac{(3,89-1) \cdot 0,035}{0,36+1}$$

$$= 3,125x - 0,074$$

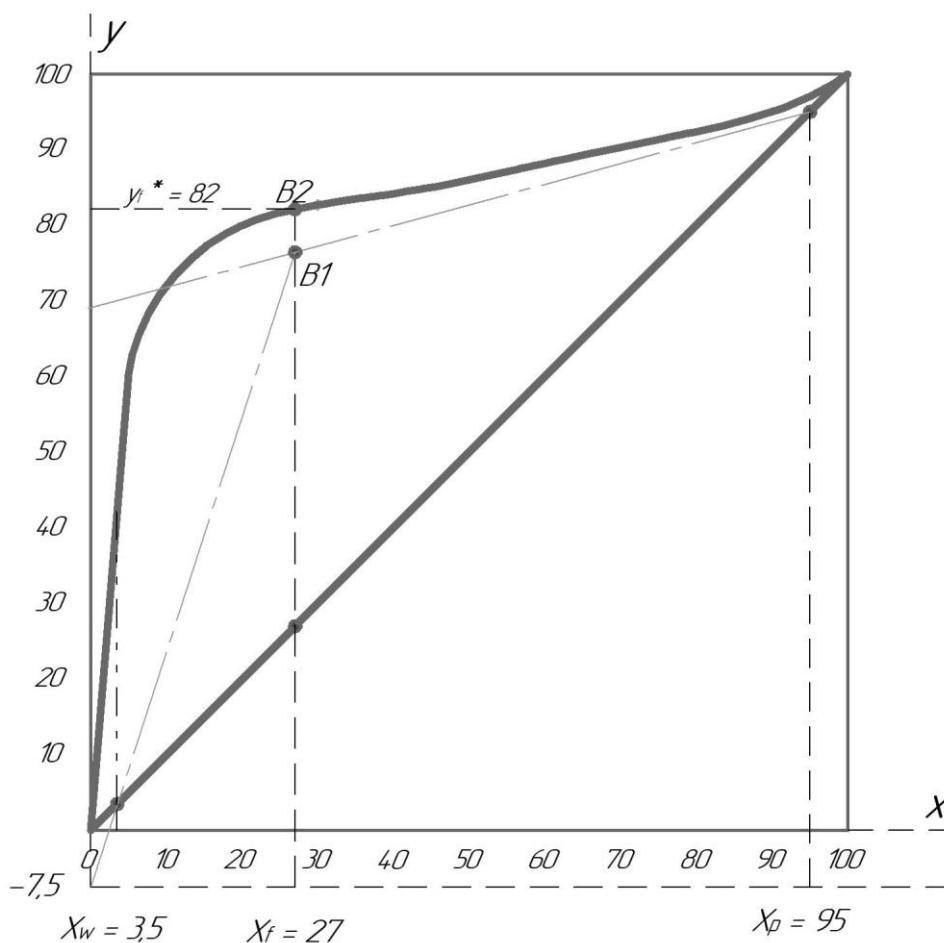


Рис. 2.1.1 – Криві рівноваги для суміші ацетон-вода

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.1.3 Визначення середніх характеристик фаз

Середня концентрація ацетону в рідині:

у верхній частині колони

$$X_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{X_f + X_p}{2} = \frac{0,27 + 0,95}{2} = 0,61$$

у нижній частині колони

$$X_{\text{ср}}^{\text{н}} = \frac{X_f + X_w}{2} = \frac{0,27 + 0,035}{2} = 0,1525$$

Середня концентрація ацетону в паровій фазі:

у верхній частині колони

$$y_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,265x + 0,69 = 0,265 \cdot 0,61 + 0,69 = \mathbf{0,852}$$

у нижній частині колони

$$y_{\text{ср}}^{\text{н}} = 3,125x - 0,074 = 3,125 \cdot 0,1525 - 0,074 = \mathbf{0,4}$$

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

При $y_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,852$, $t_{\text{ср}}^{\text{в}} = 88,2^{\circ}\text{C}$

При $y_{\text{ср}}^{\text{н}} = 0,4$ $t_{\text{ср}}^{\text{н}} = 60,3^{\circ}\text{C}$

середня температура в колоні:

$$t_{\text{ср}} = \frac{60,3 + 88,2}{2} = 74,25^{\circ}\text{C}$$

Середні мольні маси парової фази:

для верхньої частини колони:

$$M_{\text{ср}}^{\text{в}} = y_{\text{ср}}^{\text{в}} M_A + (1 - y_{\text{ср}}^{\text{в}}) \cdot M_B \quad (2.1.6)$$

де M_A, M_B – молярна маса ацетону та води відповідно, кг/моль;

$y_{\text{ср}}^{\text{в}}$ – середня концентрація ацетону в паровій фазі у верхній частині колони.

$$M_{\text{ср}}^{\text{в}} = 0,86 \cdot 58 + (1 - 0,86) \cdot 18 = 52,4 \text{ кг/кмоль}$$

для нижньої частини колони:

$$M_{\text{ср}}^{\text{н}} = y_{\text{ср}}^{\text{н}} M_A + (1 - y_{\text{ср}}^{\text{н}}) \cdot M_B \quad (2.1.7)$$

де M_A, M_B – молярна маса ацетону та води відповідно, кг/моль;

$y_{\text{ср}}^{\text{н}}$ – середня концентрація ацетону в паровій фазі у нижній частині колони.

$$M_{\text{ср}}^{\text{н}} = 0,4 \cdot 58 + (1 - 0,4) \cdot 18 = 34 \text{ кг/кмоль}$$

Середні густини пари:

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{В/Н}} = \frac{M_{\text{ср}}^{\text{В/Н}} \cdot T_0}{22,4 \cdot T} \quad (2.1.8)$$

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

T – температура в верхній/нижній частинах колони, °С.

для верхньої частини колони:

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{В}} = \frac{52,4 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 88,2)} = 1,77 \text{ кг/м}^3$$

для нижньої частини колони:

$$\rho_{\text{ср}}^{\text{Н}} = \frac{34 \cdot 273}{22,4 \cdot (273 + 60,3)} = 1,24 \text{ кг/м}^3$$

середня густина пари у колоні

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{ср}}^{\text{В}} + \rho_{\text{ср}}^{\text{Н}}}{2} = \frac{1,77 + 1,24}{2} = 1,505 \text{ кг/м}^3$$

Температура рідкої фази:

на виході з колони при $x_p = 0,95$; $t_p = 57,2^\circ\text{C}$

у кубі випарника при $x_w = 0,035$; $t_p = 83,1^\circ\text{C}$

середня температура в колоні $t_{\text{ср}} = 70,15^\circ\text{C}$

Середня густина рідкої фази:

густина рідкого ацетону при $t = 57,2^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{М}} = 744,6 \text{ кг/м}^3$

густина води при $t = 83,1^\circ\text{C}$; $\rho_{\text{В}} = 970 \text{ кг/м}^3$

середня густина рідкої фази у колоні

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{М}} + \rho_{\text{В}}}{2} = \frac{744,6 + 970}{2} = 857,3 \text{ кг/м}^3$$

2.1.4 Швидкість пари в колоні:

$$\omega_{\text{п}} = 0,032 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{\text{ср рід}}}{\rho_{\text{ср пар}}}} \quad (2.1.9)$$

де $\rho_{\text{ср рід}}$ – середня густина рідини в колоні, кг/м³;

$\rho_{\text{ср пар}}$ – середня густина пари в колоні, кг/м³.

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

$$\omega_{\Pi} = 0,032 \cdot \sqrt{\frac{857,3}{1,505}} = 0,763 \text{ м/с}$$

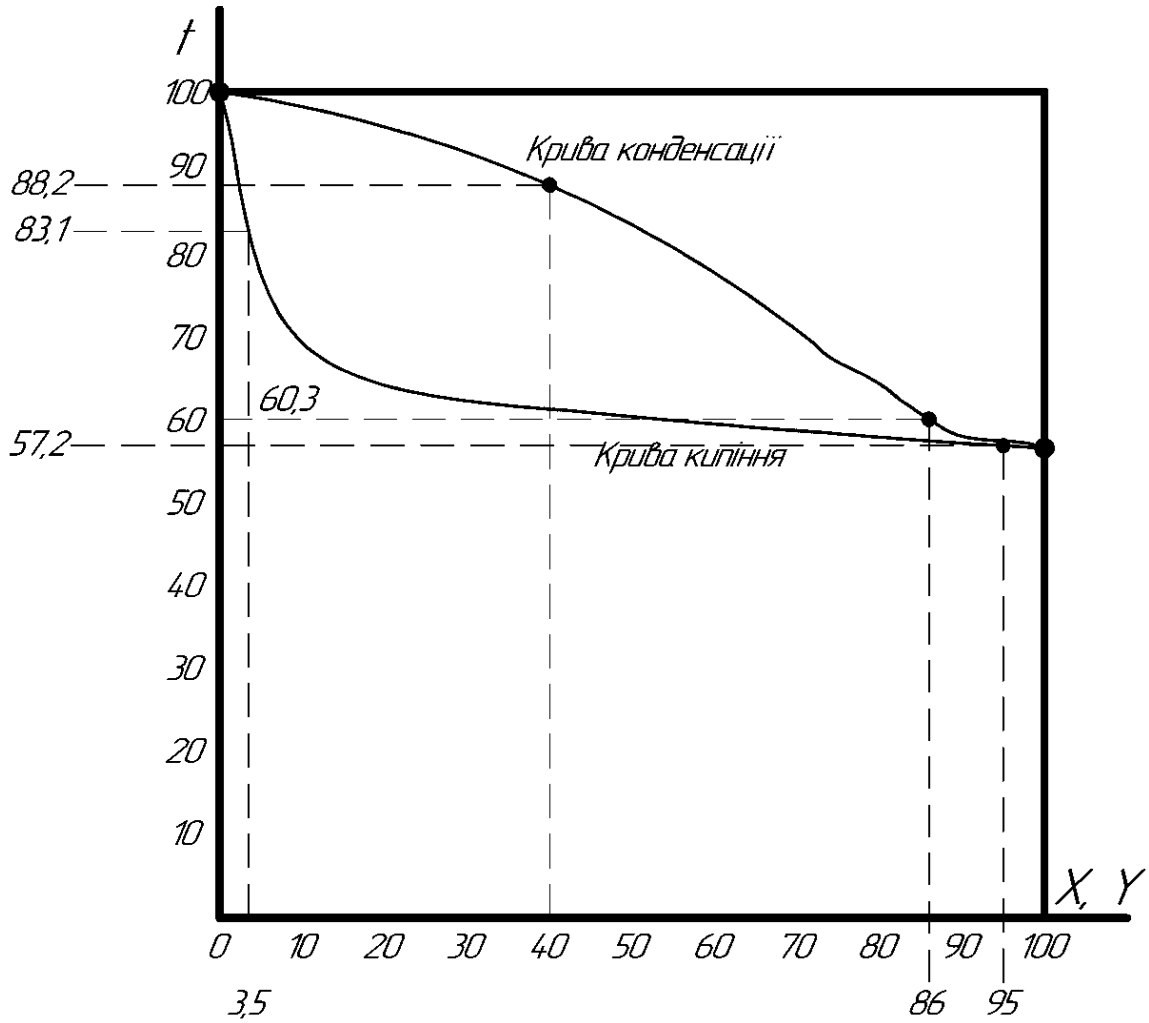


Рис. 2.1.2 – Діаграма t-x,y суміші ацетон-вода

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.2 КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ АПАРАТУ

Формули для розрахунків взяті із джерел [4,13].

2.2.1 Визначення основних параметрів

Масова витрата пари:

$$G_D = L_p \cdot (R + 1) \quad (2.2.1)$$

де L_p - продуктивність по дистилляту, кг/год;

R – флегмове число.

$$G_D = 2170 \cdot (0,36 + 1) = 2951,2 \text{ кг/год}$$

Мольна маса дистилляту:

$$M_D = X_p \cdot M_A + (1 - X_p) \cdot M_B \quad (2.2.2)$$

де M_A, M_B – молярна маса ацетону та води відповідно, кг/моль;

X_p - вміст легко летучого компонента в дистилляті, %мол.

$$M_D = 0,95 \cdot 58 + (1 - 0,95) \cdot 18 = 56 \text{ кг/кмоль}$$

Об'ємна витрата пари через колону:

$$V_D = \frac{G_D \cdot 22,4 \cdot T}{3600 \cdot M_D \cdot T_0} \quad (2.2.3)$$

де G_D – масова витрата пари, кг/год;

M_D – мольна маса дистилляту, кг/моль;

T – середня температура в колоні, °С.

$$V_D = \frac{2951,2 \cdot 22,4 \cdot (273 + 70,15)}{3600 \cdot 56 \cdot 273} = 0,412 \text{ м}^3/\text{с}$$

2.2.2 Визначення діаметрів вхідних та вихідних штуцерів

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

Діаметри штуцерів для пару.

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

$$d_D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_D}{\pi \cdot \omega_{\text{шт.п.}}}} \quad (2.2.5)$$

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

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

$$d_D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,412}{3,14 \cdot 25}} = 0,144 \text{ м}$$

Приймаємо $d_D = 200$ мм

Діаметр штуцера вводу флегми.

Густина флегми приймаємо по ацетону:

$$\rho_A = 744,6 \text{ кг/м}^3$$

Масова витрата флегми:

$$V_\Phi = \frac{G_D}{3600 \cdot \rho_A} \quad (2.2.6)$$

де G_D – масова витрата пари, кг/год;

ρ_A – густина ацетону, кг/м³.

$$V_\Phi = \frac{2938,18}{3600 \cdot 744,6} = 0,0011 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр штуцера:

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \cdot V_\Phi}{\pi \cdot \omega_{\text{п.у.}}}} \quad (2.2.7)$$

де V_Φ – масова витрата флегми, м³/с;

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

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0011}{3,14 \cdot 0,763}} = 0,043 \text{ м}$$

Приймаємо $d_f = 80$ мм

Діаметр штуцера виводу кубового залишку.

Густина кубового залишку приймаємо по воді:

$$\rho_B = 970 \text{ кг/м}^3$$

Об'ємна витрата кубового залишку:

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

$$V_w = \frac{L_w}{3600 \cdot \rho_B} \quad (2.2.8)$$

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

ρ_B - густина води, кг/м³.

$$V_w = \frac{2105,74}{3600 \cdot 970} = 0,000603 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр штуцера виводу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot V_w}{\pi \cdot \omega_{п.у.}}} \quad (2.2.9)$$

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

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

$$d_w = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,000603}{3,14 \cdot 0,763}} = 0,032 \text{ м}$$

Приймаємо $d_w = 50$ мм

Діаметр штуцера вводу вихідної суміші.

Густина вихідної суміші приблизно оцінюємо як:

$$\rho_F = x_F \cdot \rho_a + (1 - x_p) \cdot \rho_B \quad (2.2.10)$$

де $\rho_a = 732,6$ кг/м³, $\rho_B = 977,8$ $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - відповідно, густина ацетону та води при $t = 70^\circ\text{C}$;

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

$$\rho_F = 0,37 \cdot 704 + (1 - 0,37) \cdot 965,3 = 868,62 \text{ кг/м}^3$$

Об'ємні витрати вихідної суміші:

$$V_f = \frac{L_f}{(3600 \rho_F)} \quad (2.2.11)$$

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

ρ_B - густина води, кг/м³.

$$V_f = \frac{4275,74}{3600 \cdot 855,2} = 0,0014 \text{ м}^3/\text{с}$$

Діаметр штуцера:

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

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \cdot V_f}{\pi \cdot \omega_{\Pi}}} \quad (2.2.12)$$

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

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

$$d_f = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0014}{3,14 \cdot 0,763}} = 0,048 \text{ м}$$

Приймаємо $d_f = 80$ мм

2.2.3 Підбір тарілки та основних її параметрів

Робоча площа тарілки:

$$F_p = \frac{V_D}{\omega_{\Pi,у.}} \quad (2.2.13)$$

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

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

$$F_p = \frac{0,412}{0,763} = 0,54 \text{ м}^2$$

Попередній діаметр апарату:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V_D}{\pi \cdot \omega_{\Pi}}} \quad (2.2.14)$$

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

ω_{Π} – швидкість пари, м/с.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,412}{3,14 \cdot 0,763}} = 0,827 \text{ м}$$

Попередньо приймаємо діаметр колони $D = 1$ м.

Вибираємо відповідно до завдання ковпачкову тарілку. Для колони діаметром 1000 мм та $F_p = 0,54 \text{ м}^2$ по каталогу, приймаємо тарілку ковпачкову типу ТСК-1, яка має такі характеристики [12]:

робоча площа тарілки $F_p = 0,573 \text{ м}^2$;

площа зливу $F_3 = 0,05 \text{ м}^2$;

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

площа проходу парів $F_{\text{п}} = 0,073 \text{ м}^2$;

висота переливного порогу $h_{\text{пер}} = 30 \text{ мм}$;

довжина шляху рідини $L_{\text{рід}} = 0,595 \text{ м}$

периметр зливу $\Pi = 0,8 \text{ м}$;

кількість ковпачків на тарілці $n = 43 \text{ шт}$;

діаметр ковпачків $D_{\text{ковп}} = 80 \text{ мм}$;

маса тарілки $m = 52 \text{ кг}$

У завдання подальших розрахунків основних параметрів тарілки входить визначення висоти зливного порога $h_{\text{пор}}$, підпору рідини над зливним порогом $h_{\text{сл}}$, висоти прорізів ковпачка $h_{\text{пр}}$, і, якщо це необхідно, опору тарілки Δp .

Схематичне зображення ковпачка тарілки наведено на рис. 2.2.1.

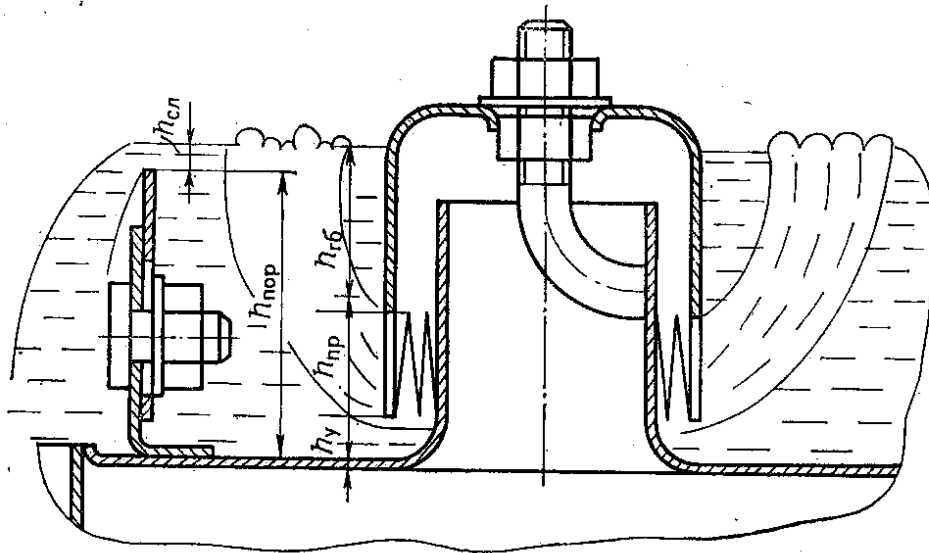


Рис. 2.2.1 – Розташування ковпачка і зливного порога

Величину $h_{\text{сл}}$ розраховуємо без урахування виносу рідини:

$$h_{\text{сл}} = 0,68 \cdot \left(\frac{V_{\text{р}}}{\Pi} \right)^{0,67} \quad (2.2.15)$$

де Π – периметр зливу, м;

$V_{\text{р}}$ – об’ємна витрата пари через колону, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$V_{\text{р}} = \frac{G_{\text{р}}}{3600 \cdot \rho_{\text{р}}} \quad (2.2.16)$$

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

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

ρ_p – густина рідини, кг/м³.

$$V_p = \frac{4275,74}{3600 \cdot 857,3} = 0,00138 \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$h_{сл} = 0,68 \cdot \left(\frac{0,00138}{0,8} \right)^{0,67} = 0,0095 \text{ м}$$

Для визначення висоти зливного порога розрахуємо висоту прорізів в ковпачках. Приймаємо ковпачок з прямокутними прорізами $b = 4$ мм, кількість прорізів $z = 20$ (див. Табл. 2.2.1).

Таблиця 2.2.1 - Розрахункова ширина b прорізів в ковпачках

Форма ковпачку і прорізи	Ширина прорізу (мм) при висоті прорізу $h_{пр}$, мм				
	15	20	25	30	45
Капсульний, прямокутна	—	4,00	4,0	4,00	—
Капсульні, трапецеїдальна	5,31	5,75	—	6,75	—
Жолобчастий, трапецеїдальний	—	8,25	7,8	7,37	—
S-подібний, трапецеїдальний	—	—	—	—	16

Тоді, отримуємо:

$$h_{пр} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{V_D}{mzb} \right)^2 \cdot \frac{\rho_{п}}{\rho_p - \rho_{п}}} \quad (2.2.17)$$

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

b – ширина прорізу, мм;

z – кількість прорізів, шт.;

m – число ковпачків, шт.;

ρ_p – середня густина рідини, кг/м³ ;

$\rho_{п}$ – середня густина пари, кг/м³.

$$h_{пр} = 0,46 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{0,41}{37 \cdot 20 \cdot 0,004} \right)^2 \cdot \frac{1,505}{857,3 - 1,505}} = 0,021 \text{ м}$$

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

Приймаємо висоту прорізу $h_{\text{пр}} = 20$ мм.

В цьому випадку пара буде проходити через повністю відкриті прорізи і частково через нижню кромку ковпачка. Для забезпечення цього прийmemo висоту установки ковпачка $h_y = 10$ мм.

Глибина барботажу при абсолютному тиску (атмосферному) $p = 98100$ Па, составит:

$$h_{\text{г.б.}} = \left(\frac{0,7}{\rho_p} \right) \cdot p^{0,35} \quad (2.2.18)$$

де ρ_p – середня густина рідини, кг/м³ ;

$$h_{\text{г.б.}} = \left(\frac{0,7}{857,3} \right) \cdot 98100^{0,35} = 0,046 \text{ м}$$

Висота зливного порога:

$$h_{\text{пор}} = h_{\text{г.б.}} - h_{\text{сл}} + h_{\text{пр}} + h_y \quad (2.2.19)$$

де $h_{\text{г.б.}}$ – глибина барботажу, м;

$h_{\text{сл}}$ – висота підпору рідини над зливним порогом, м;

$h_{\text{пр}}$ – висота прорізу, м;

h_y – висота установки ковпачку, м.

$$h_{\text{пор}} = 0,046 - 0,0095 + 0,021 + 0,01 = 0,0675 \text{ м}$$

Висота піни, що утворюється на тарілці, складає:

$$h_{\text{пн}} = \frac{k_2}{\sigma^{0,33}} \cdot (k_3 \cdot \omega_p^2 \cdot \rho_{\text{п}} + k_4 h_{\text{сл}} + h_{\text{пор}}) \quad (2.2.20)$$

де σ - поверхневий натяг рідини, Дж/м² ;

ω_p – швидкість пари в робочому перетині колони, м/с ;

$h_{\text{сл}}$ – висота підпору рідини над зливним порогом, м;

$h_{\text{пор}}$ – висота переливного порога, м;

$\rho_{\text{п}}$ – густина пари, кг/м³ ;

k_2, k_3, k_4 – допоміжні коефіцієнти.

$$h_{\text{пн}} = \frac{0,23}{0,02^{0,33}} \cdot (0,044 \cdot 0,763^2 \cdot 1,505 + 4,6 \cdot 0,0095 + 0,0675) = 0,125 \text{ м}$$

Величина відносного виносу рідини:

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

$$y = \frac{k_1}{\sigma} \cdot \left(\frac{\omega_p}{H_T - h_{\text{пн}}} \right)^{n_1} \quad (2.2.21)$$

де σ - поверхневий натяг рідини, Дж/м²;

k_1, n_1 – допоміжні коефіцієнти;

ω_p – швидкість пари в робочому перетині колони, м/с;

H_T – відстань між тарілками, м;

$h_{\text{пн}}$ – висота піни, що утворюється на тарілці, м.

$$y = \frac{0,00023}{0,02} \cdot \left(\frac{0,763}{0,3 - 0,125} \right)^{1,16} = 0,063 < 0,1.$$

Отже, відстань між тарілками вибрано вірно.

2.2.5 Визначення числа теоретичних тарілок

Для визначення числа теоретичних тарілок на діаграмі y - x будемо ступені змінення концентрації (див. рис. 2.2.2).

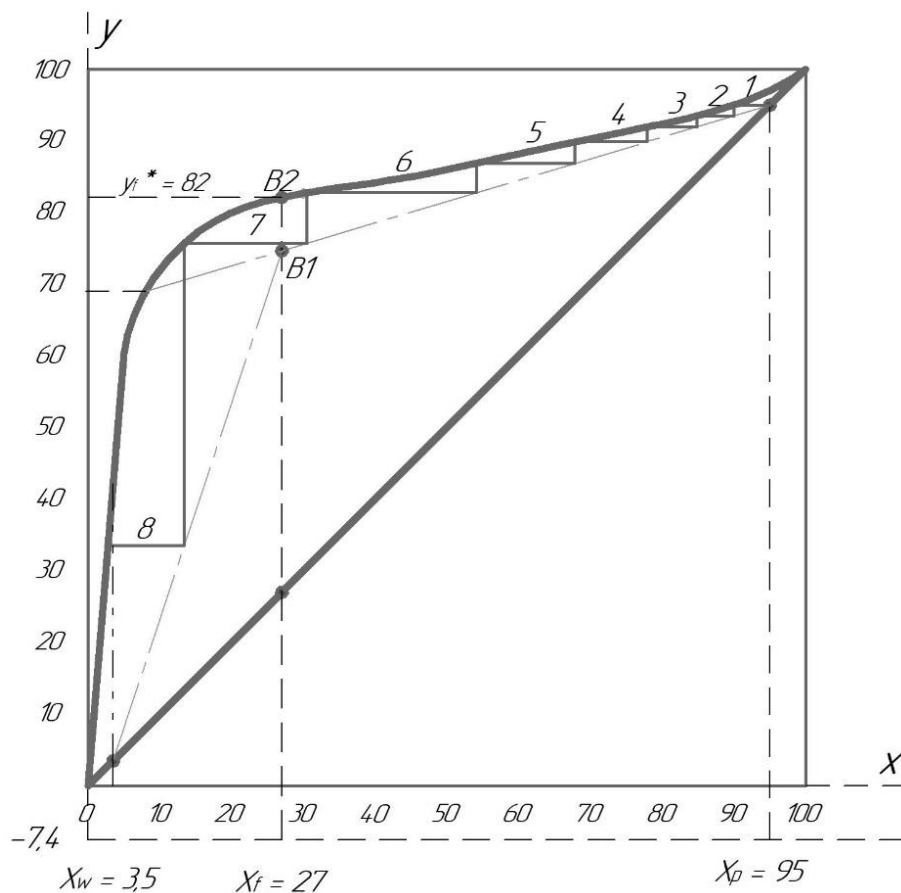


Рис. 2.2.2 – Криві рівноваги для суміші ацетон-вода

Верхня частина колони $n_T^B = 6,2$, у нижній $n_T^H = 1,8$.

2.2.6 Визначення середнього ККД тарілок

Визначення середнього ККД тарілок:

$$M_F = x_F M_a + (1 - x_F) \cdot M_B \quad (2.2.22)$$

де M_A, M_B – молярна маса ацетону та води відповідно, кг/моль;

x_F - вміст легко летучого компонента в початковій суміші, %мол.

$$M_F = 0,27 \cdot 58 + (1 - 0,27) \cdot 18 = 28,8 \text{ кг/кмоль}$$

В'язкість рідкої фази при середній температурі в колоні:

$$\log \mu_{\text{сум}} = x_F \cdot \log \mu_a + (1 - x_F) \cdot \log \mu_B$$

$$\log \mu_{\text{сум}} = 0,27 \cdot \log 0,228 + (1 - 0,27) \cdot \log 0,404$$

$$\log \mu_{\text{сум}} = -0,46; \mu_{\text{сум}} = 0,347 \text{ мПа} \cdot \text{с}$$

Мольний об'єм дифундуючої речовини (ацетону) визначається, як сума атомних об'ємів елементів з урахуванням структурної постійної (для ацетону (C_3H_6O)) [15,с.288]:

$$v = N_c V_c + N_H V_H + N_O V_O \quad (2.2.23)$$

де N_c - число атомів вуглецю;

V_c - атомний об'єм вуглецю;

N_H - число атомів водню;

V_H - атомний об'єм водню;

N_O - число атомів кисню;

V_O - атомний об'єм кисню.

$$v = 3 \cdot 14,8 + 6 \cdot 3,7 + 1 \cdot 7,4 = 74$$

Коефіцієнт дифузії ацетону в рідкій фазі:

$$D_p = 7,4 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{(\beta \cdot M_F)^{0,5} \cdot T}{\mu_{\text{сум}} \cdot v^{0,6}} \quad (2.2.24)$$

де $\beta = 1$ для ацетону;

M_F – мольна маса вихідної рідини.

$$D_p = \frac{7,4 \cdot 10^{-12} \cdot (1 \cdot 28,8)^{0,5} \cdot (273 + 74,25)}{0,347 \cdot 74^{0,6}} = 3,0 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$$

Безрозмірний комплекс K_1 :

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

$$K_1 = \frac{\omega_{\text{п}} \cdot h_{\text{пер}} \cdot \rho_{\text{п}}}{F_3 \cdot \rho_{\text{р}} \cdot D_{\text{р}}} \quad (2.2.25)$$

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

$h_{\text{пер}}$ – висота переливного порогу, м;

$\rho_{\text{п}}$ – густина пари, кг/м³;

F_3 – площа зливу, м²;

$\rho_{\text{р}}$ – густина рідини, кг/м³;

$D_{\text{р}}$ – коефіцієнт дифузії ацетону в рідкій фазі, м²/с.

$$K_1 = \frac{0,763 \cdot 0,033 \cdot 1,505}{0,107 \cdot 857,3 \cdot 3,0 \cdot 10^{-9}} = 137701$$

Коефіцієнт поверхневого натягу приблизно оцінюємо як:

$$\sigma = 0,2 \cdot \sigma_{\text{а}} + (1 - 0,2) \cdot \sigma_{\text{в}} \quad (2.2.26)$$

де ($\sigma_{\text{а}} = 23,3 \cdot 10^{-3}$ Н/м; $\sigma_{\text{в}} = 18,8 \cdot 10^{-3}$ Н/м) – коефіцієнти поверхневого натягу ацетону та води відповідно.

$$\sigma = (0,2 \cdot 23,3 + (1 - 0,2) \cdot 18,8) \cdot 10^{-3} = 19,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Безрозмірний комплекс K_2 :

$$K_2 = \frac{\sigma}{\omega_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{р}} \cdot D_{\text{р}}} \quad (2.2.27)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м;

$\omega_{\text{п}}$ - швидкість пари, м/с;

$\rho_{\text{р}}$ – густина рідини, кг/м³;

$D_{\text{р}}$ – коефіцієнт дифузії ацетону в рідкій фазі, м²/с.

$$K_2 = \frac{19,7 \cdot 10^{-3}}{0,763 \cdot 857,3 \cdot 3 \cdot 10^{-9}} = 10038,9$$

Середній ККД тарілки:

$$\eta = 0,068 \cdot K_1^{0,1} \cdot K_2^{0,125} = 0,068 \cdot (137701)^{0,1} \cdot (10038,9)^{0,125} = 0,702 .$$

2.2.7 Число дійсних тарілок

У верхній частині колони:

$$n^B = \frac{n_T^B}{\eta} = \frac{6,2}{0,702} = 8,83 \approx 11$$

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

У нижній частині колони:

$$n^H = \frac{n_T^H}{\eta} = \frac{1,8}{0,702} = 2,56 \approx 3$$

Загальне число тарілок:

$$n = n^B + n^H = 11 + 3 = 14$$

2.2.8 Визначення висоти колони

Висота робочої (тарілчастої) частини колони:

$$H_k = (n - 1) \cdot h \quad (2.2.28)$$

де n – загальне число тарілок, шт;

h - відстань між тарілками, м.

$$H_k = (14 - 1) \cdot 0,3 = 3,9 \text{ м}$$

З урахуванням живильної тарілки та подвійної відстані від неї, висота робочої частини колони:

$$H_k = 4,5 \text{ м}$$

Загальна висота колони:

$$H = H_k + Z_b + Z_n + H_{\text{окр}}$$

де Z_b и Z_n – відповідно висоти сепараційного простора під верхньою тарілкою та відстань між нижньою тарілкою та днищем колони згідно з рекомендаціями [12];

H_k – висота робочої частини колони, м;

$H_{\text{окр}}$ – висота для округлення (можна знехтувати).

$$H = 4,5 + 0,8 + 2 = 7,3 \text{ м}$$

Отже, висота колони без опори:

$$H = 7,3 \text{ м}$$

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

2.3 ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР КОЛОНИ

Гідравлічний опір тарілки верхньої частини колони.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$w_o = \frac{\omega_{\Pi}}{F_{\Pi}} \quad (2.3.1)$$

де ω_{Π} - швидкість пари, м/с;

F_{Π} - площа проходу парів, м².

$$w_o = \frac{0,763}{0,073} = 10,45 \text{ м/с}$$

Опір тарілки:

$$\Delta P_{\text{сух}} = \xi \cdot \frac{w_o^2 \cdot \rho_{\text{ср}}^{\text{В}}}{2} \quad (2.3.2)$$

де $\xi = 1,82$ - коефіцієнт опору незрошуваної ковпачкової тарілки з обраними параметрами;

w_o - швидкість пари в отворах тарілки, м/с;

$\rho_{\text{ср}}^{\text{В}}$ - густина пари в верхній частині колони, кг/м³.

$$\Delta P_{\text{сух}} = 1,82 \cdot \frac{10,45^2 \cdot 1,77}{2} = 175,89 \text{ Н/м}^2$$

Об'ємна витрата рідини в верхній частині колони:

$$V_p^{\text{В}} = \frac{G_D \cdot M_{\text{ср}}^{\text{В}}}{M_A \cdot \rho_p \cdot 3600} \quad (2.3.3)$$

де G_D - масова витрата пари, кг/год;

$M_{\text{ср}}^{\text{В}}$ - середня мольна маса парової фази в верхній частині колони, кг/моль;

M_A - молярна маса ацетону, кг/моль;

ρ_p - густина рідини, кг/м³.

$$V_p^{\text{В}} = \frac{2951,2 \cdot 52,4}{32 \cdot 744,6 \cdot 3600} = 0,0018 \text{ м}^3/\text{с}$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{V_p^{\text{В}}}{1,8 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{2/3} \quad (2.3.4)$$

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

де V_p^B - об'ємна витрата рідини в верхній частині колони, м³/с;

Π – периметр зливу, м;

k – допоміжний коефіцієнт.

$$\Delta h = \left(\frac{0,0018}{1,8 \cdot 0,8 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 0,0191 \text{ м}$$

Висота парорідинного шару:

$$h_{\text{вис}} = h_{\text{пер}} + \Delta h \quad (2.3.5)$$

де $h_{\text{пер}}$ – висота переливного порогу, м;

Δh - висота шару над зливною перегородкою, м.

$$h_{\text{вис}} = 0,03 + 0,0191 = 0,0491 \text{ м}$$

Опір парорідинного шару:

$$\Delta P_{\text{пр}} = 1,3 \cdot h_{\text{вис}} \cdot k \cdot \rho_p \cdot g \quad (2.3.6)$$

де $h_{\text{вис}}$ – висота парорідинного шару, м;

k – допоміжний коефіцієнт;

ρ_p – густина рідини, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м²/с.

$$\Delta P_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 0,0491 \cdot 0,5 \cdot 744,6 \cdot 9,81 = 233,12 \text{ Н/м}^2$$

Загальний опір тарілки:

$$\Delta P^B = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\text{пр}} = 175,89 + 191 = 366,89 \text{ Н/м}^2$$

Гідравличний опір тарілки в нижній частині колони (розраховується за формулами 2.3.1 – 2.3.6).

Опір сухої тарілки:

$$\Delta_{\text{сух}} = 1,82 \cdot \frac{10,45^2 \cdot 1,24}{2} = 123,22 \text{ Н/м}^2$$

Об'ємна витрата рідини в нижній частині колони:

$$V_p^H = \frac{(2951,2 + 4275,74) \cdot 34}{28,8 \cdot 970 \cdot 3600} = 0,0024 \text{ м}^3/\text{с}$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{0,0024}{1,8 \cdot 0,8 \cdot 0,5} \right)^{2/3} = 0,023 \text{ м}$$

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

Висота парорідинного шару:

$$h_{\text{пр}} = 0,03 + 0,023 = 0,053 \text{ м}$$

Опір парорідинного шару:

$$\Delta P_{\text{пр}} = 1,3 \cdot 0,053 \cdot 0,5 \cdot 970 \cdot 9,81 = 327,82 \text{ Н/м}^2$$

Загальний опір тарілки:

$$\Delta P^{\text{H}} = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\text{пр}} = 123,22 + 327,82 = 451,04 \text{ Н/м}^2$$

Перевіримо, як дотримуються умови нормальної праці при відстані між тарілками $h = 0,3$ м. Перевіримо для тарілок нижньої частини колони, у яких гідравлічний опір більше, ніж у тарілок верхньої частини:

$$h > 1,8 \cdot \frac{\Delta p}{\rho_{\text{р}} \cdot g} = \frac{1,8 \cdot 451,04}{970 \cdot 9,81} = 0,085.$$

тобто менше ніж $h = 300$ мм - умова дотримується.

Перевіримо умову рівномірності роботи тарілки:

$$w_{\text{omin}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \rho_{\text{р}} \cdot h_{\text{пр}}}{\xi \cdot \rho_{\text{п}}}} \quad (2.3.7)$$

де g – прискорення вільного падіння, $\text{м}^2/\text{с}$.

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

$h_{\text{пр}}$ – висота парорідинного шару, м;

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

$$w_{\text{omin}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 744,6 \cdot 0,0491}{1,82 \cdot 1,77}} = 6,85 < w_o = 10,45 \text{ м/с}$$

- забезпечується умова рівномірності роботи.

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta P = \Delta P^{\text{В}} n^{\text{В}} + \Delta P^{\text{H}} n^{\text{H}} = 366,89 \cdot 11 + 451,04 \cdot 4 = 5839,95 \text{ Н/м}^2$$

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

2.4 ПІДБІР СТАНДАРТНОГО ОБЛАДНАННЯ

2.4.1 Розрахунок кожухотрубного теплообмінника для куба-випарника

Розраховувати і підбирати нормалізований вид конструкції кожухотрубного випарника для ректифікаційної колони з $L_f = 4275,74$ кг/год парів вихідного розчину органічної рідини при температурі кипіння 56°C .

В якості теплоносія використовуємо насичену водяну пару тиском $p = 0,15$ МПа, з температурою конденсації $106,1^\circ\text{C}$.

Витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді в дефлегматорі-конденсаторі:

$$w_{0min} = 0,65 \cdot Q_D = G_D \cdot (1 + R) \cdot r_D \quad (2.4.1)$$

де r_D - середня питома теплота конденсації, кДж/кг.

Визначимо середню питому теплоту конденсації за формулою:

$$r_D = x_F \cdot r_a + (1 - x_a) \cdot r_b \quad (2.4.2)$$

де $r_a = 522,6$ - середня питома теплота конденсації ацетону, кДж/кг;

$r_b = 2260$ - середня питома теплота конденсації води, кДж/кг;

$$r_D = 0,27 \cdot 522,6 + (1 - 0,27) \cdot 2260 = 1790,902 \text{ кДж/кг}$$

Тоді:

$$Q_D = \frac{2938,18}{3600} \cdot (1 + 0,354) \cdot 1790,902 \cdot 10^3 = 1979,09 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Витрата теплоти, одержуваної в кубі-випарнику від пари, що гріє:

$$Q_k = Q_D + G_D \cdot c_D \cdot t_D + G_W \cdot c_W \cdot t_W - G_F \cdot c_F \cdot t_F \cdot Q_{втр} \quad (2.4.3)$$

де c_D - питома теплоємність дистилляту, Дж / (кг К);

t_D - температура дистилляту, $^\circ\text{C}$;

c_W - питома теплоємність кубового залишку, Дж/(кг К);

t_W - температура кубового залишку, $^\circ\text{C}$;

c_F - питома теплоємність живлення, Дж / (кг К);

t_F - температура живлення, $^\circ\text{C}$;

$Q_{втр}$ - теплові втрати (3% від корисної теплоти), Вт.

Середня питома теплоємність суміші визначається за рівнянням:

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

$$c = x_a \cdot c_a + (1 - x_a) \cdot c_b \quad (2.4.4)$$

$$t_D = 60,3^\circ\text{C}$$

$$t_F = 74,25^\circ\text{C}$$

$$t_W = 88,2^\circ\text{C}$$

$$c_F = 0,27 \cdot 2304,5 + (1 - 0,27) \cdot 3016,8 = 1608,70 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

$$c_D = 0,95 \cdot 2333,8 + (1 - 0,95) \cdot 2974,9 = 2365,86 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

$$c_W = 0,035 \cdot 2388,3 + (1 - 0,035) \cdot 3226,3 = 3196,97 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

Визначимо теплове навантаження теплообмінника за формулою:

$$Q_K = 1979,09 \cdot 10^3 + \left(\frac{2170}{3600} \cdot 2365,86 \cdot 60,3 + \frac{4275,74}{3600} \cdot 1608,70 \cdot 74,25 + \frac{2105,75}{3600} \cdot 3196,97 \cdot 88,2 \right) \cdot 1,03 = 2383668,05 \text{ Вт}$$

Середня рушійна сила:

$$\Delta t_{cp} = 106,1 - 56 = 50,1^\circ\text{C}$$

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

$$F_{op} = \frac{Q_K}{K_{op} \cdot \Delta t_{cp}} \quad (2.4.5)$$

де Q_K – витрата теплоти, одержуваної в кубі-випарнику від пари, що гріє, Вт;

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

Δt_{cp} – рушійна сила процесу.

$$F_{op} = \frac{2383668,05}{800 \cdot 50,1} = 59,47 \text{ м}^2$$

Витрата гріючої пари, що має тиск $P = 0,15 \text{ МПа}$ і вологість 5% за рівнянням:

$$G_{гп} = \frac{Q_K}{r_{гп} \cdot x} \quad (2.4.6)$$

де $r_{гп}$ - питома теплота конденсації пари, що гріє, Дж / кг,

$x = 0,95$ – ступінь сухості:

$$G_{гп} = \frac{2383668,05}{2230,5 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 1,125 \text{ кг/с}$$

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

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

Площа поверхні теплообміну $F = 70 \text{ м}^2$;

Діаметр кожуха $D = 800 \text{ мм}$;

Довжина труб $l = 2000 \text{ мм}$;

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

Схема кожухотрубного теплообмінника наведена на рис. 2.4.1.

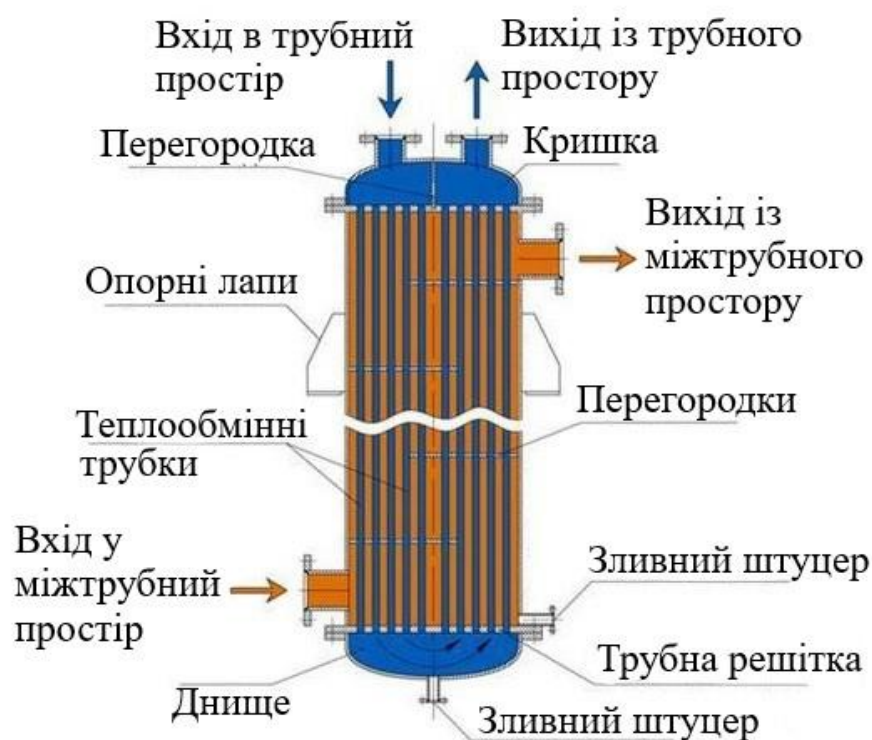


Рис. 2.4.1 – Схема вертикального кожухотрубного теплообмінника:

2.4.2 Розрахунок дефлегматора

Розрахувати і підібрати нормалізований варіант конструкції кожухотрубного конденсатора (дефлегматора) суміші парів органічної рідини для конденсації пари. Тепло конденсації відводиться водою з початковою температурою $t_{1п} = 15^\circ\text{C}$.

Приймаємо температуру води на виході з конденсатора $t_{1к} = 40^\circ\text{C}$.

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

Витрата охолоджуючої води при нагріванні на 20°C:

$$V_B = \frac{Q_D}{c_B \cdot \Delta t \cdot \rho_B} \quad (2.4.7)$$

де c_B - теплоємність води, кДж/(кг К);

Δt - зміна температури води, °С;

ρ_B - густина води, кг/м³;

Q_D - витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді в дефлегматорі-конденсаторі, Вт.

$$V_B = \frac{1790,902}{4190 \cdot 20 \cdot 1000} = 0,085 \text{ м}^3/\text{с}$$

Складаємо температурну схему протivotочного руху теплоносіїв:

$$56,4^\circ\text{C} \quad \text{-----} \quad 56,4^\circ\text{C}$$

$$40^\circ\text{C} \quad \text{-----} \quad 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_M = 16,4^\circ\text{C}; \quad \Delta t_G = 41,4^\circ\text{C};$$

Середню різницю температур для одноходового теплообмінника знайдемо за формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_G - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_G}{\Delta t_M}} \quad (2.4.8)$$

де Δt_G – велика різниця температур;

Δt_M – мала різниця температур.

$$\Delta t_{cp} = \frac{41,4 - 16,4}{\ln \frac{41,4}{16,4}} = 26,99^\circ\text{C}$$

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

$$F_{Op} = \frac{Q_D}{K_{Op} \cdot \Delta t_{cp}} \quad (2.4.9)$$

де Q_K – витрата теплоти, що віддається охолоджуючій воді в дефлегматорі-конденсаторі, Вт.

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

Δt_{cp} – рушійна сила процесу.

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

$$F_{op} = \frac{1979,09 \cdot 10^3}{800 \cdot 26,99} = 91,66 \text{ м}^2$$

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

Площа поверхні теплообміну $F = 106 \text{ м}^2$;

Діаметр кожуха $D = 800 \text{ мм}$;

Довжина труб $l = 3000 \text{ мм}$;

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

Схема дефлегматора наведена на рис. 2.4.2.

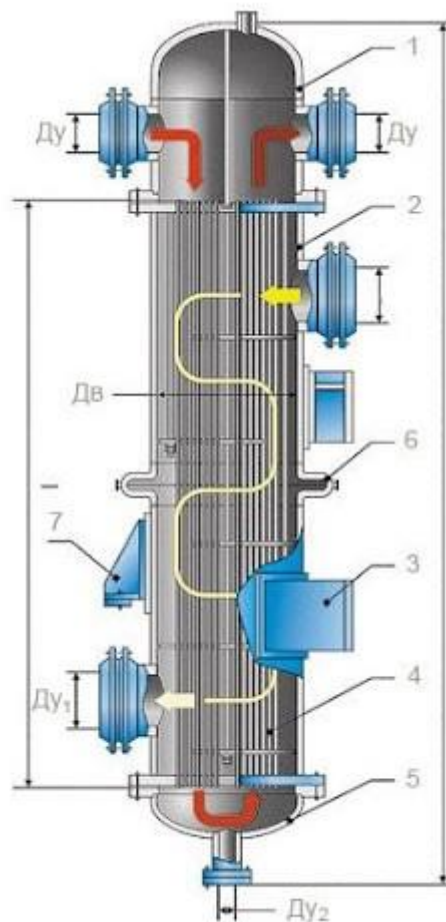


Рис. 2.4.2 – Схема вертикального кожухотрубного теплообмінника:

- 1 – розподільна камера; 2 – кожух; 3 – опора (для горизонтального розташування); 4 – теплообмінна труба; 5 – кришка; 6 – компенсатор;
7 – опора (для вертикального розташування)

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК АПАРАТУ НА МІЦНІСТЬ І ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

У завдання конструктивно-механічного розрахунку входить визначення необхідних геометричних розмірів окремих деталей і вузлів, які визначають конструкцію колони, її механічну міцність і геометричні розміри.

3.1 РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ СТІНОК ОБИЧАЙКИ КОЛОНИ

3.1.1 Товщина обичайки розраховується за формулою:

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

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

$$p = [p] + \Delta P_r = 0,1 + (7,3 \cdot 857,3 \cdot 9,81) \cdot 10^{-6} = 0,161 \text{ МПа}$$

D – діаметр апарату, м;

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

$p_{и}$ – пробний тиск, МПа;

$[\sigma]_{и}$ – пробне допустиме напруження, МПа;

φ – коефіцієнт зварного шву.

Оскільки середовище є нейтральним, але чутливим до умов, то приймаємо матеріал сталі 12Х18Н10Т, для якої $\sigma^* = 154$ 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.

$$[\sigma] = 154 \cdot 1 = 154 \text{ МПа}$$

Надбавка до розрахункової товщини:

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

де $\Pi = 0,1$ мм/рік;

$\tau = 25$ років – термін експлуатації апарату.

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

$$c = 0,1 \cdot 25 = 2,5 \text{ мм}$$

Визначимо пробний тиск ($p_{и}$) і напруження, що допускається ($[\sigma]_{и}$):

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

де σ_{20T} – межа текучості матеріалу, МПа.

$$[\sigma]_{и} = \frac{240}{1,1} = 218,18 \text{ МПа}$$

Тоді:

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

де P – розрахунковий тиск, МПа;

σ_{20T} - межа текучості матеріалу, МПа;

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

$$P_{и} = \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,161 \cdot \frac{240}{160} \\ 0,2 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,362 \text{ МПа} \\ 0,2 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,362 \text{ МПа}$$

Приймаємо коефіцієнт міцності зварних і паяних з'єднань:

$$\varphi = 0,8$$

Тоді:

$$S \geq \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,161 \cdot 1000}{(2 \cdot 0,8 \cdot 154 - 0,161)} \\ \frac{0,362 \cdot 1000}{(2 \cdot 0,8 \cdot 218,18 - 0,362)} \end{array} \right\} + 2,5$$

$$S \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 3,15 \text{ мм} \\ 3,54 \text{ мм} \end{array} \right\}$$

$$S \geq 3,54 \text{ мм}$$

З огляду на той факт, що висота апарату більше 5 м, остаточно приймаємо товщину стінки $S = 8 \text{ мм}$.

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.

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

$$\frac{8 - 2,5}{1000} = 0,0055 < 0,1 \text{ — умова виконана}$$

3.1.2 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.

$$S \geq \max \left\{ \frac{p \cdot D}{[2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p]}, \frac{p_{\text{и}} \cdot D}{[2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{\text{и}} - 0,5 \cdot p_{\text{и}}]} \right\} + c \quad (3.1.7)$$

де p – розрахунковий тиск, МПа;

D – діаметр апарату, м;

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

$p_{\text{и}}$ – пробний тиск, МПа;

$[\sigma]_{\text{и}}$ – пробне допустиме напруження, МПа;

φ – коефіцієнт зварного шву.

$$S \geq \max \left\{ \frac{0,161 \cdot 1000}{(2 \cdot 0,8 \cdot 154 - 0,161 \cdot 0,5)}, \frac{0,362 \cdot 1000}{(2 \cdot 0,9 \cdot 218,18 - 0,362 \cdot 0,5)} \right\} + 2,5$$

$$S \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 3,15 \text{ мм} \\ 3,54 \text{ мм} \end{array} \right\}$$

$$S \geq 3,54 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину кришки рівній товщині обичайки $S = 8$ мм. Підбираємо стандартні сталеві відбортовані днище і кришку згідно (ГОСТ 6533-68).

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

3.2 РОЗРАХУНОК І ВИБІР ОПОРИ КОЛОНИ

Установка хімічних апаратів на фундаменти або спеціальні несучі конструкції здійснюється здебільшого за допомогою опор. Апарати вертикального типу з співвідношенням $H/D > 5$, що розміщуються на відкритих майданчиках, оснащують так званими спідничні циліндричними опорами. Для установки нашого вертикального апарату будемо використовувати опори для вертикальних апаратів.

Маса рідини в апараті в робочому стані:

$$M_{\text{рід}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H_{\text{к}} \cdot \rho_{\text{рід}} \quad (3.2.1)$$

де D – діаметр апарату, м;

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

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

$$M_{\text{рід}} = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} \cdot 7,3 \cdot 857,3 = 4912,76 \text{ кг}$$

Маса тарілок в апараті:

$$M_{\text{тар}} = n_{\text{тар}} \cdot m_{\text{тар}} \quad (3.2.2)$$

де $n_{\text{тар}}$ – число тарілок, шт.;

$m_{\text{тар}}$ – маса тарілок, кг.

$$M_{\text{тар}} = 15 \cdot 52 = 780 \text{ кг}$$

Маса обичайки апарату:

$$M_{\text{об}} = H_{\text{к.ц.}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ((D_a + 2 \cdot S)^2 - D_a^2) \cdot \rho_{\text{ст}} \quad (3.2.3)$$

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

D_a – діаметр апарату, м;

S – товщина стінки, м;

$\rho_{\text{ст}}$ – щільність сталі, кг/м³.

$$M_{\text{об}} = 6,75 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot ((1 + 2 \cdot 0,008)^2 - 1^2) \cdot 7850 = 1341,7 \text{ кг}$$

Маса еліптичних кришок – 74,4 кг.

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

Загальна маса апарату:

$$M_{\text{кол}} = (M_{\text{рід}} + M_{\text{тар}} + M_{\text{об}} + 2 \cdot M_{\text{ел}}) \cdot 1,08 \quad (3.2.4)$$

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

$M_{\text{тар}}$ – маса тарілок, кг;

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

$M_{\text{ел}}$ – маса еліптичних кришок.

$$M_{\text{кол}} = (4912,76 + 780 + 1341,7 + 74,4 \cdot 2) \cdot 1,08 = 7757,9 \text{ кг}$$

Вага всього апарату:

$$G = M_{\text{кол}} \cdot g = 7757,9 \cdot 9,81 = 76105 \text{ Н} \approx 0,0762 \text{ МН}$$

Розрахуємо товщину ребра:

$$\delta = \frac{2,24 \cdot G}{0,6 \cdot n \cdot z \cdot l \cdot \sigma_{\text{с.д.}}} + C_{\text{к}} + C_{\text{окр}} \quad (3.2.5)$$

де G – максимальна вага апарату при гідровипробуванні, МН;

n – число опор, використовуємо 1 опори; z – число ребр в опорі, приймаємо 4;

$\sigma_{\text{с.д.}}$ – допустиме напруження на стискання (приймаємо рівним 100 МН/м^2);

l – виліт опори, м.

$$\delta = \frac{2,24 \cdot 0,0762}{0,6 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 0,75 \cdot 100} + 0,0025 + C_{\text{окр}} = 0,00345 \text{ м} + C_{\text{окр}}$$

Приймаємо товщину ребра, рівну 10 мм.

Також приймаємо стандартну опору 4-1000-1-0,8-2500 АТК 24.200.04-90, яка має наступні параметри:

$$D_3 = 1880 \text{ мм}; D_2 = 1760 \text{ мм}; D_1 = 1600 \text{ мм}; S_1 = 10 \text{ мм}; S_2 = 25 \text{ мм};$$

$$S_3 = 25 \text{ мм};$$

Кількість болтів – 16 шт.;

Діаметр різьби фундаментних болтів – 60 мм;

Маса опори – 1427 кг.

Тоді, загальна маса пустої колони:

$$m_{\text{к}} = (780 + 1341,7 + 74,4 \cdot 2 + 1427) \cdot 1,08 = 3993,3 \text{ кг}$$

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

3.3. РОЗРАХУНОК ГЕРМЕТИЧНОСТІ ФЛАНЦЕВОГО З'ЄДНАННЯ

Формули для розрахунків взято з джерела [16]. Початкові дані:

температура фланців $t_{\phi} = 83^{\circ}\text{C}$;

температура болтів $t_{\delta} = 78^{\circ}\text{C}$;

внутрішній тиск $P = 0,15 \text{ МПа}$;

зовнішня сила $F = 0 \text{ МН}$;

$\sigma_{\text{Б}}^{20} = 110 \text{ МПа}$ - допустиме болтове напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t_{\delta} = 20^{\circ}\text{C}$;

$\sigma_{\text{Б}}^t = 106 \text{ МПа}$ - допустиме болтове напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t_{\delta} = 78^{\circ}\text{C}$;

$[\sigma_{\phi}]^{20} = 160 \text{ МПа}$ - допустиме фланцеве напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t_{\phi} = 20^{\circ}\text{C}$;

$[\sigma_{\phi}]^t = 153 \text{ МПа}$ - допустиме фланцеве напруження для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t_{\phi} = 83^{\circ}\text{C}$;

Товщина втулки фланця:

$$s \leq S_0 \leq 1,3 \cdot s \quad (3.3.1)$$

де s – виконавча товщина обичайки, мм.

$$8 \leq S_0 \leq 1,3 \cdot 8 = 10,4$$

Приймаємо $S_0 = 9 \text{ мм}$.

Товщина біля основи втулки:

$$S_1 = \beta_1 S_0 \quad (3.3.2)$$

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

S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$s_1 = 1,5 \cdot 0,009 = 0,0135 \text{ м}$$

Висота втулки фланця:

$$h_{\text{в}} \geq \frac{1}{i} \cdot (s_1 - s_0) \quad (3.3.3)$$

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

де $i = \frac{1}{3}$ – похил втулки;

S_0 - товщина втулки фланця, м;

S_1 - товщина біля основи втулки, м.

$$h_B = \frac{1}{\frac{1}{3}} \cdot (0,0135 - 0,009) = 0,0135 \text{ м}$$

Діаметр болтової окружності:

$$D_6 \geq D + 2 \cdot (s_1 + d_6 + u) \quad (3.3.4)$$

де D – діаметр апарату, мм;

s_1 - товщина біля основи втулки, м;

d_6 – рекомендований діаметр болтів, приймаємо $d_6 = 20$ мм.

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

$$D_6 = 1 + 2 \cdot (0,0135 + 0,02 + 0,004) = 1,075 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_H = D_6 + a \quad (3.3.5)$$

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

D_6 - діаметр болтової окружності, мм.

$$D_H = 1,075 + 0,04 = 1,115 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_{н.п.} = D_6 - e \quad (3.3.6)$$

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

D_6 - діаметр болтової окружності, мм.

$$D_{н.п.} = 1,075 - 0,03 = 1,045 \text{ м}$$

Середній діаметр прокладки:

$$D_{с.п.} = D_{н.п.} - b \quad (3.3.7)$$

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

b – ширина прокладки, приймаємо для плоскої неметалевої прокладки $b = 12$ мм.

$$D_{с.п.} = 1,045 - 0,012 = 1,033 \text{ мм}$$

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

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

$$n_{\text{б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{ш}}} \quad (3.3.8)$$

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

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

$$t_{\text{ш}} = (4,2 \dots 5) \cdot d_{\text{б}} \quad (3.3.9)$$

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

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

$$n_{\text{б}} = \frac{3,14 \cdot 1,075}{0,09} = 37,52 \text{ шт}$$

Приймаємо $n_{\text{б}} = 38$ шт.

Висота (товщина) фланця орієнтовно:

$$h_{\text{ф}} = \lambda_{\text{ф}} \cdot \sqrt{D \cdot S_{\text{эк}}} \quad (3.3.10)$$

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

D – діаметр апарату, мм;

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

$$S_{\text{эк}} = S_0 \cdot \left(1 + \frac{h_{\text{в}} \cdot (\beta_1 - 1)}{h_{\text{в}} + 0,25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot S_0}} \right) \quad (3.3.11)$$

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.

$$S_{\text{эк}} = 9 \cdot \left(1 + \frac{0,0135 \cdot (1,5 - 1)}{0,0135 + 0,25 \cdot (1,5 + 1) \cdot \sqrt{1 \cdot 0,009}} \right) = 9,83 \text{ мм}$$

Приймаємо $S_{\text{эк}} = 10$ мм.

$$h_{\text{ф}} = 0,22 \cdot \sqrt{1 \cdot 0,01} = 0,022 \text{ м}$$

Приймаємо $h_{\text{ф}} = 25$ мм

Мінімально необхідна довжина болтів:

$$L_{\text{б}} = 2 \cdot (h_{\text{ф}} + h_{\text{п}}) + 0,28 \cdot d_{\text{б}} \quad (3.3.12)$$

де $h_{\text{ф}}$ – висота (товщина) фланця, м;

$h_{\text{п}} = 0,003$ м – висота (товщина) стандартної прокладки;

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

d_6 – діаметр болтів, м.

$$L_6 = 2 \cdot (0,025 + 0,003) + 0,28 \cdot 0,02 = 0,0616 \text{ м}$$

Приймаємо довжину болта $L_6 = 80$ мм. Тоді, приймаємо:

Болт М20-6gx80 ГОСТ 7795-70

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

$$b_E = 0,5 \cdot b \quad (3.3.13)$$

де b – ширина прокладки.

$$b_E = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ мм}$$

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

Конструктивний коефіцієнт для фланця:

$$K_\phi = \frac{D_H}{D} \quad (3.3.14)$$

де D_H – зовнішній діаметр фланця, м;

D – діаметр апарату, м.

$$K_\phi = \frac{1,115}{1} = 1,115$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K_\phi \quad (3.3.15)$$

де K_ϕ – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,115 = 0,0605$$

Поправочний коефіцієнт:

$$\psi_{2\phi} = \frac{K_\phi + 1}{K_\phi - 1} \quad (3.3.16)$$

де K_ϕ – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$\psi_{2\phi} = \frac{1,115 + 1}{1,115 - 1} = 18,39$$

Поправочний коефіцієнт для прорізу S_0 для плоских приварних фланців [7]:

$$\psi_{3\phi} = 1,00$$

Геометричні параметри фланців:

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

$$j_{\phi} = \frac{h_{\phi}}{S_0} \quad (3.3.17)$$

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

S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$j_{\phi} = \frac{0,025}{0,009} = 2,78$$

Безрозмірний параметр фланців:

$$T_{\phi} = \frac{K_{\phi}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{\phi}) - 1}{(1,05 + 1,945 K_{\phi}^2) \cdot (K_{\phi} - 1)} \quad (3.3.18)$$

де K_{ϕ} – конструктивний коефіцієнт для фланця.

$$T_{\phi} = \frac{1,115^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,115) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,115^2) \cdot (1,115 - 1)} = 1,8698$$

Безрозмірний параметр:

$$\omega_{\phi} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi} \cdot (1 + \psi_1 \cdot j_{\phi}^2)} \quad (3.3.19)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,22$ – приймається згідно рис 1.40 [1];

ψ_1 – поправочний коефіцієнт;

j_{ϕ} – геометричний параметр фланців.

$$\omega_{\phi} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,22 \cdot (1 + 0,0605 \cdot 2,78^2)} = 0,775$$

Кутова податливість фланців:

$$y_{\phi 1} = \frac{(1 - \omega_{\phi} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})) \cdot \psi_2}{h_{\phi}^3 \cdot E_{\phi}^t} \quad (3.3.20)$$

де $\lambda_{\phi} = 0,22$ – приймається згідно рис 1.40 [1];

ψ_2 – поправочний коефіцієнт;

h_{ϕ} – висота (товщина) фланця, мм;

$E_{\phi}^t = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності фланця при $t_{\phi} = 83^{\circ}\text{C}$.

$$y_{\phi} = \frac{(1 - 0,775 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,22)) \cdot 18,39}{0,025^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,422 \text{ м/МН}$$

Лінійна піддатливість прокладки:

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

$$y_{\Pi} = \frac{2 \cdot h_{\Pi}}{\pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b \cdot E_{\Pi}} \quad (3.3.21)$$

де $h_{\Pi} = 3$ мм – висота (товщина) стандартної прокладки;

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

b – товщина прокладки, м;

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

$$y_{\Pi} = \frac{2 \cdot 0,003}{3,14 \cdot 1,033 \cdot 0,012 \cdot 2000} = 7,704 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

Площа поперечного перерізу болта:

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

Лінійна піддатливість болтів:

$$y_{\text{Б}} = \frac{L_{\text{Б}}}{E_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot n_{\text{Б}}} \quad (3.3.22)$$

де $L_{\text{Б}}$ – довжина болта, м;

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

$f_{\text{Б}}$ – площа поперечного розрізу болта, м²;

$n_{\text{Б}}$ – число болтів, шт.

$$y_{\text{Б}} = \frac{0,08}{2 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 38} = 4,479 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН}$$

Параметр жорсткості фланцевого з'єднання:

$$A_{\Phi} = \frac{1}{y_{\Pi} + y_{\text{Б}} + 0,25 \cdot 2 \cdot y_{\Phi} \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{с.п.}})^2} \quad (3.3.23)$$

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;

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

$$A_{\Phi} = \frac{1}{7,704 \cdot 10^{-5} + 4,479 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 2 \cdot 0,422 \cdot (1,075 - 1,033)^2} = 2025,5$$

Параметр жорсткості фланців:

$$B_{\Phi} = y_{\Phi} \cdot (D_{\text{Б}} - D - S_0) \quad (3.3.24)$$

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

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

D_{ϕ} - діаметр болтової окружності, м;

D – діаметр апарату, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$B_{\phi} = 0,422 \cdot (1,075 - 1 - 0,009) = 0,0278 \text{ 1/МН}$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot u_{\phi} \quad (3.3.25)$$

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

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

$$\gamma = 2025,5 \cdot 4,479 \cdot 10^{-5} = 0,0907$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$a_{\phi} = A_{\phi} \cdot (u_{\phi} + 0,25 \cdot 2 \cdot B_{\phi} \cdot (D_{\phi} - D_{\text{с.п.}})) \quad (3.3.26)$$

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

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

B_{ϕ} - параметр жорсткості фланців;

D_{ϕ} - діаметр болтової окружності, м;

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

$$a_{\phi} = 2025,5 \cdot (4,479 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 2 \cdot 0,0278 \cdot (1,075 - 1,033)) = 1,2744$$

Рівнодіюча внутрішнього тиску:

$$Q_{\text{д}} = 0,785 \cdot D_{\text{с.п.}}^2 \cdot P \quad (3.3.27)$$

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

P – тиск в апараті, МПа.

$$Q_{\text{д}} = 0,785 \cdot 1,033^2 \cdot 0,1 = 0,0838 \text{ МН}$$

Реакція прокладок в робочих умовах:

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot k \cdot P \quad (3.3.28)$$

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.

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

$$R_{\Pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,033 \cdot 0,006 \cdot 2,5 \cdot 0,1 = 0,0097 \text{ МН}$$

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

$$Q_{t\phi} = \gamma \cdot n_{\phi} \cdot E_{\phi} \cdot f_{\phi} \cdot (a_{\phi}^t \cdot t_{\phi} - a_{\phi}^t \cdot t_{\phi}) \quad (3.3.29)$$

де γ - безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання;

n_{ϕ} - число болтів, шт.;

E_{ϕ} - модуль пружності болта, МПа;

f_{ϕ} - площа поперечного розрізу болта, м²;

$a_{\phi}^t = 17 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт лінійного розширення при робочій температурі фланців;

t_{ϕ} - температура фланців, °С;

$a_{\phi}^t = 13,3 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт лінійного розширення при робочій температурі болтів;

t_{ϕ} - температура болтів, °С.

$$Q_{t\phi} = 0,1753 \cdot 38 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2,34 \cdot 10^{-4} \cdot (17 \cdot 10^{-6} \cdot 83 - 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 78) = \\ = 0,0605 \text{ МН}$$

Монтажне болтове зусилля фланцевого з'єднання за різними умовами:

$$P'_{\phi 1} = \pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b_E \cdot q \quad (3.3.30)$$

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

b_E - ефективна ширина прокладки, м;

q - тиск обтиску прокладки, МПа.

$$P'_{\phi 1} = 3,14 \cdot 1,033 \cdot 0,006 \cdot 20 = 0,3894 \text{ МН}$$

$$P''_{\phi 1} = a_{\phi} \cdot (Q_d \mp P) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot M}{D_{\text{с.п.}}} \quad (3.3.31)$$

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

R_{Π} - реакція прокладки, МН;

a_{ϕ} - коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання;

Q_d - рівнодіюча внутрішнього тиску, МН;

M - обертаючий момент, Н · м;

P - перепад тиску в апараті, МПа.

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

$$P''_{61} = 1,2744 \cdot (0,0838 \mp 0) + 0,0097 + \frac{4 \cdot 0}{1,033} = 0,1165 \text{ МН}$$

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

$$P_{61} = \max\{P'_{61}; P''_{61}\} \quad (3.3.32)$$

$$P_{61} = \max\{0,3894; 0,1165\} = 0,3894 \text{ МН}$$

Умова потужності прокладки:

$$\frac{P_{61}}{\pi \cdot D_{\text{с.п.}} \cdot b} \leq [q] \quad (3.3.33)$$

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

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

b - ширина прокладки, м.

$$\frac{0,3894}{3,14 \cdot 1,033 \cdot 0,012} = 19,99 \text{ МПа} \leq [q] = 130 \text{ МПа} - \text{умова виконана}$$

Болтове навантаження в робочих умовах:

$$P_{62} = P_{61} + (1 - \alpha_{\phi}) \cdot (Q_{\text{д}} \mp P) + Q_{\text{тф}} + \frac{4M}{D_{\text{с.п.}}} \quad (3.3.34)$$

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

α_{ϕ} - коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання;

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

P - перепад тиску в апараті, МПа;

M - обертаючий момент, Н · м;

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

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

$$P_{62} = 0,3894 + (1 - 1,2744) \cdot (0,0838 \mp 0) + 0,0605 + \frac{4 \cdot 0}{1,033} = 0,427 \text{ МН}$$

Розрахункове болтове навантаження:

$$P_{6\phi} = \max\{P_{61}; P_{62}\} \quad (3.3.35)$$

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

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

$$P_{6\phi} = \max\{0,3894; 0,427\} = 0,427 \text{ МН}$$

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

Напруження розтягування болтів в робочих умовах і умовах монтажу відповідно:

$$\sigma_B^t = \frac{P_{B2}}{n_B \cdot f_B} \quad (3.3.36)$$

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.

$$\sigma_B^t = \frac{0,427}{38 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 47,81 \text{ МПа}$$

$$\sigma_B^{20} = \frac{P_{B1}}{n_B \cdot f_B} \quad (3.3.37)$$

$$\sigma_B^{20} = \frac{0,3894}{38 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} = 43,61 \text{ МПа}$$

Обертаючий момент при затягуванні гайок:

$$M_{\text{скр}} = f_1 \cdot \frac{P_{B\phi}}{n_B} \cdot d_B \quad (3.3.38)$$

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

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

n_B - число болтів, шт.;

d_B - діаметр болтів, м.

$$M_{\text{скр}} = 0,1 \cdot \frac{0,427}{38} \cdot 0,02 = 2,247 \cdot 10^{-5} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Дотичне напруження в болтах:

$$\tau_B = \frac{M_{\text{скр}}}{0,2 \cdot d_0^3} \quad (3.3.39)$$

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

d_0 - внутрішній діаметр болтів, мм.

$$\tau_B = \frac{2,247 \cdot 10^{-5}}{0,2 \cdot 0,01838^3} = 18,097 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження в болтах:

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

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{(\sigma_B^{20})^2 + 3\tau^2} \quad (3.3.40)$$

де σ_B^{20} - напруження розтягу болтів в умовах монтажу, МПа;

σ_B^t - напруження розтягу болтів в робочих умовах, МПа;

τ - дотичне напруження в болтах, МПа.

$$\sigma_{BE}^{20} = \sqrt{43,61^2 + 3 \cdot 18,097^2} = 53,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{(\sigma_B^t)^2 + 3\tau^2} \quad (3.3.41)$$

$$\sigma_{BE}^t = \sqrt{47,81^2 + 3 \cdot 18,097^2} = 57,17 \text{ МПа}$$

Умова потужності болтів:

$$\sigma_{BE}^{20} \leq [\sigma_B]^{20} \quad (3.3.42)$$

53,7 МПа < 110 МПа – умова виконана

$$\sigma_{BE}^t \leq [\sigma_B]^t \quad (3.3.43)$$

57,17 МПа < 106 МПа – умова виконана

Наведений вигинає момент в діаметральному перетині фланця в умовах монтажу:

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot P_{B1} \cdot (D_B - D_{c.п.}) \quad (3.3.44)$$

де P_{B1} - розрахункове болтове навантаження, МН;

D_B - діаметр болтової окружності, м;

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

$$M_{01\phi} = 0,5 \cdot 0,3894 \cdot (1,075 - 1,033) = 0,0082 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Наведений вигинаючий момент в діаметральному перетині фланця в робочих умовах:

$$M_{02\phi} = \frac{0,5 \cdot [P_{B2} \cdot (D_B - D_{c.п.}) + Q_d \cdot (D_{c.п.} - D - S_0)] \cdot [\sigma_\phi]^{20}}{[\sigma_\phi]^t} \quad (3.3.45)$$

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

D_B - діаметр болтової окружності, м;

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

Q_d - рівнодіюча внутрішнього тиску, МН;

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

D – діаметр апарату, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м;

$[\sigma_\phi]^{20} = 160$ МПа - допустима фланцева напруга для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t_\phi = 20^\circ\text{C}$;

$[\sigma_\phi]^t = 154$ МПа - допустима фланцева напруга для сталі 12Х18Н10Т при температурі $t_\phi = 83^\circ\text{C}$.

$$M_{02\phi} = \frac{0,5 \cdot [0,427 \cdot (1,075 - 1,033) + 0,0838 \cdot (1,033 - 1 - 0,009)] \cdot 154}{160} =$$
$$= 0,0104 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Розрахунковий наведений момент в діаметральному перетині фланця:

$$M_{0\phi} = \max\{M_{01\phi}; M_{02\phi}\} \quad (3.3.46)$$

$$M_{0\phi} = \max\{0,0082; 0,0104\} = 0,0104 \text{ МН} \cdot \text{м}$$

Допоміжна величина:

$$\varepsilon = 20 \cdot S_0 \quad (3.3.47)$$

де S_0 - товщина втулки фланця, м.

$$\varepsilon = 20 \cdot 0,009 = 0,18$$

Розрахунковий діаметр при $D \geq \varepsilon$:

$$D^* = D = 1 \text{ м}$$

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

$$\sigma_{0\phi} = \psi_3 \cdot \frac{T_\phi \cdot M_{0\phi} \cdot \omega_\phi}{D^* \cdot (S_1 - c)^2} \quad (3.3.48)$$

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.

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

$$\sigma_{0\phi} = 1 \cdot \frac{1,8698 \cdot 0,0104 \cdot 0,775}{1 \cdot (0,0135 - 0,0025)^2} = 124,55 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{к\phi} = \frac{M_{0\phi} \cdot (1 - \omega_{\phi 1} \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{\phi})) \cdot \psi_2}{D \cdot h_{\phi}^2} \quad (3.3.49)$$

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;

$\lambda_{\phi} = 0,22$ – приймається згідно рис 1.40 [1].

$$\sigma_{к\phi} = \frac{0,0104 \cdot (1 - 0,775 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,22)) \cdot 18,39}{1 \cdot 0,025^2} = 21,89 \text{ МПа}$$

Кільцеві меридіональні напруження у втулці фланців від дії внутрішнього тиску:

$$\sigma_{х\phi} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} \quad (3.3.50)$$

де D – діаметр апарату, м;

S_0 - товщина втулки фланця, м;

c – прибавка на корозію, м;

P – тиск в апараті, МПа.

$$\sigma_{х\phi} = \frac{0,1 \cdot 1}{2 \cdot (0,009 - 0,0025)} = 7,69 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{у\phi} = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_0 - c)} \quad (3.3.51)$$

$$\sigma_{у\phi} = \frac{0,1 \cdot 1}{4 \cdot (0,009 - 0,0025)} = 3,85 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруги в перетині S_0 :

$$\sigma_{Е\phi} = \sqrt{(\sigma_{0\phi} + \sigma_{у\phi})^2 + \sigma_{х\phi}^2 - (\sigma_{0\phi} + \sigma_{у\phi}) \cdot \sigma_{х\phi}} \quad (3.3.52)$$

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

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

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

$$\sigma_{E\phi} = \sqrt{(124,55 + 3,85)^2 + 7,69^2 - (124,55 + 3,85) \cdot 7,69} = 124,7 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$\sigma_{E\phi} \leq [\sigma_{\phi 1}^{S_0}] \varphi \quad (3.3.53)$$

$$124,7 \text{ МПа} < (500 \cdot 0,9 = 450 \text{ МПа}) - \text{ умова виконана}$$

Умова герметичності фланцевого з'єднання:

$$\frac{\sigma_{к\phi} \cdot D}{2 \cdot E_{\phi} \cdot h_{\phi}} \leq [\theta]; \quad (3.3.54)$$

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.

$$\frac{\sigma_{к\phi} \cdot D}{E_{\phi} \cdot h_{\phi}} = \frac{21,89 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,025} = 0,0044 \text{ рад}$$

$$\theta = 0,0044 < [\theta] = 0,009 \text{ рад} - \text{ умова виконана}$$

Остаточно приймаємо Фланець 1-1000-1-0-12X18H10T ГОСТ 28759.2-90.

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

РОЗДІЛ 4 МОНТАЖ І РЕМОНТ АПАРАТУ

4.1 МОНТАЖ АПАРАТУ

Специфіка і габарити промислових ректифікаційних колон накладають підвищену відповідальність на підготовчий етап робіт по монтажу, демонтажу і такелажу ректифікаційних колон. Для того щоб уникнути небажаних проблем і непередбачених витрат в майбутньому, необхідно ще на початковому етапі детально вивчити паспорт виробу, переконатися в якості виготовлення агрегату, відсутності пошкоджень в процесі перевезення, а також під час зберігання і безпосередньо перед установкою. Не меншу увагу приділяється вивченню архітектурного планування промислової будівлі, в якій передбачається проводити роботи по монтажу або демонтажу ректифікаційної колони, збору інформації про доступні потужностях і необхідних для проведення робіт заходах, а також складання виконавчої документації для монтажу колон або ППР на монтаж колон [17].

Зважаючи на значну масу і габарити ректифікаційні колони при будь-яких маніпуляціях вимагають делікатного ставлення до себе. Монтаж і демонтаж колон слід проводити в суворій відповідності з положеннями, зазначеними в технічній документації заводу виробника, проектом розміщення обладнання, ППР і ряду нормативних документів. Ректифікаційні колони можуть прибути на будівельний майданчик як в повній заводській готовності, законсервованими, так і окремими елементами (складальними елементами - царгами) [17].

Особливу увагу приділяють етапу транспортування колон або їх частин з території заводу виробника до майданчика монтажу. Цей процес ділиться на кілька технологічних етапів: здача обладнання заводом, завантаження в транспорт, розвантаження і тимчасове зберігання до остаточного монтажу колони у склянки фундаментів. У ході кожного етапу ведеться контроль стану обладнання на предмет відсутності пошкоджень, закінчення робіт фіксується актами з обов'язковою наявністю підписів фахівців як здає, так і приймаючої

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

обладнання боку. Зберігання ректифікаційних колон безпосередньо перед їх монтажем проводиться виключно на бетонному або будь-якому іншому рівному майданчику, який виключає можливість провисання (і як наслідок - пошкодження) корпусу колони [17].

Приймаємо монтаж ректифікаційної колони методом нарощування. Монтаж способом нарощування ведуть з нижньої частини апарату, послідовно нарощуючи окремі царги. Монтаж ведуть баштовим і гусеничним кранами. Спосіб нарощування застосовують при монтажі колонних апаратів укрупненими блоками. Укрупнену збірку окремих царг в блоки виконують гусеничним краном. Блоки, збирають в зоні максимальної вантажопідйомності баштового крана по кілька царг в блоці. Перед установкою в кожному блоці верхньої царги приварюють кронштейни для містків, з яких з'єднують блоки між собою. Недоліком способу нарощування є те, що під час монтажу доводиться вести роботи на різній висоті, що ускладнює складання, збільшує термін і вартість монтажу.

Відхилення корпусу колон (для агрегатів діаметром не більше 1 метра і висотою не більше 8 метрів) по вертикалі не повинно перевищувати 2 мм на кожен метр висоти, але сумарно не більше 5 мм. Для колон заввишки більше 8 метрів сукупне відхилення від еталонного положення не повинно перевищувати 10 мм. Забезпечити такі показники можна проведенням постійного геодезичного контролю.

Міцність, щільність і якість з'єднання ректифікаційної колони, а також підвідних і відвідних трубопроводів перевіряється шляхом пневматичних і гідравлічних випробувань з певним алгоритмом, в ході яких виявляються слабкі місця конструкції і виконуються заходи щодо їх посилення. Завершення процедури випробувань оформлюється актами.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

4.2 РЕМОНТ АПАРАТУ

Основним видом зносу колонних апаратів є забивання та корозія її елементів. Корпуси та внутрішні пристрої колонних апаратів зношуються в результаті корозійного, ерозійного і термічного впливу середовища [18].

Колонні апарати ремонтують при планово-попереджувальних ремонтах технологічної установки.

Підготовка колонних апаратів до ремонту полягає в наступному. Доводять тиск в колоні до атмосферного, видаляють з апарату робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, яка витісняє залишені в колоні пари і газу. Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чергують кілька разів. Промивання колон водою сприяє також більш швидкому їх охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води перевищує 50°C [18].

Пропарену і промиту колону від'єднують від всіх апаратів і комунікацій глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

Ремонт апарату починається з розкриття, яке слід проводити, суворо дотримуючись таких правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого підсосу повітря, в результаті якого може утворитися вибухонебезпечна суміш. Далі послідовно (згори вниз) відкривають інші люки. Категорично забороняється одночасно відкривати верхній і нижній люки. Не можна також відкривати спочатку нижній, а потім верхній люк, так як за рахунок різниці температур відбувається сильна притока повітря в колону, що може привести до утворення вибухонебезпечної суміші (в залежності від середовища всередині апарату) [18].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Після відкривання люків колона деякий час провітрюється в результаті природної конвекції повітря. Після закінчення провітрювання потрібно провести аналіз проб повітря, взятих з колони на різних висотних відмітках.

До робіт всередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і парів в ній не перевищує гранично допустимих санітарних норм.

Корпус колони і її внутрішні пристрої піддають ретельному огляду.

Тарілки розбирають всередині колони, виносяться через люки на обслуговуючі майданчики і транспортуються для чищення та ремонту. Спуск секцій тарілок проводиться встановленої у верхній частині колони поворотною кран-укосиною потрібної вантажопідйомності [18].

Ремонт тарілок пов'язаний в основному з їх очищенням і заміною зношених елементів. При чищенні тарілок користуються лопатками, скребками, пневматичними відбійними молотками.

Після чищення проводять заміну частини ковпачків. Деталі ковпачків виготовляють заново і збираються. Найбільш відповідальною операцією є приварка шпильки до корпусу ковпачка, так як при неспіввісності цих деталей правильна установка ковпачка виявляється неможливою. Співвісність деталей забезпечується спеціальною оправою, яка дозволяє також змінювати висоту шпильки шляхом її часткового розгинання при затягуванні гайки. Після ремонту тарілки перевіряють на барботаж і монтують в корпус [18].

Ремонт корпусу колонних апаратів проводять в залежності від виявлених дефектів. Дефекти корпусу виявляють шляхом візуального огляду та ультразвукової дефектоскопії. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом. Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими з обов'язковим встановленням зміцнювальних кілець [18].

Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізають, а на їх місце ставлять нові ділянки, заздалегідь звальцовані по радіусу колони. Зварювання виробляють встик. Вирізання великих ділянок корпусу може привести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектної ділянки його зміцнюють стійками, що встановлюються всередині або зовні.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Число й перетин стійок, розміри опорних лап розраховують, виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину. За допомогою таких стійок можна замінити весь пошкоджений пояс колони декількома частинами [18].

Ремонт колони закінчується її випробуванням. При гідравлічному випробуванні колона заповнюється водою при відкритій повітрянці (воздушка), яка встановлюється на верху колони. Поява води в повітрянці свідчить про заповнення колони. Після закриття повітрянки тиск в колоні повільно підвищується до контрольної величини. При цьому тиску апарат витримується 5 хв, потім тиск знижується до робочого значення, при якому здійснюється обстукування зварних швів молотком і огляд корпусу колони. При проведенні пневматичного випробування обстукування зварних швів не допускається [18].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ В РЕКТИФІКАЦІЙНОМУ ЦЕХУ

5.1.1 Технологічні правила техніки безпеки

Існують наступні правила техніки безпеки при роботі в ректифікаційному цеху [19]:

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

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

При роботі ректифікаційних колон необхідно безперервно контролювати параметри процесу і справність апаратури

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.

Чистку внутрішньої поверхні колони слід вести обережно, неіскристими інструментами. Якщо в колоні передбачається наявність відкладень, здатних до samozаймання на повітрі, чистку слід ввести при постійному змочуванні поверхні водою або інший негорючою рідиною.

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

При виявленні витоків в ректифікаційних колонах, теплообмінниках і інших апаратах необхідно подати водяну пару або азот до місць пропуску для запобігання можливого займання або освіти суміші вибухонебезпечних

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

концентрацій. При виникненні аварії або пожежі після зниження внутрішнього тиску в апараті необхідно подати всередину його водяну пару або азот.

У цехах і на відкритих ректифікаційних і абсорбційних установках необхідно перевіряти наявність первинних засобів пожежогашіння та справність наявних стаціонарних або напівстаціонарних систем пожежогашіння.

Організація відбору проб залежить від агрегатного стану речовин, їх тиску і температури. Проби рідини з апаратів і трубопроводів в доступних місцях відбирають через добірні краники, краплинні відбірників і інші пристрої, які виключають розлив продуктів і виділення горючих і отруйних газів. Проби відбирають в спеціальні металеві посудини, в скляні бутлі, пробовідбірники. Проби газів відбирають в спеціальні металеві пробовідборники.

5.1.2 Засоби індивідуального захисту

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу передбачені індивідуальні засоби захисту [19]:

1. Захист органів дихання - застосовують фільтруючі протигази, шлангові протигази ПШ - 1, ПШ - 2 і повітряні апарати АСВ.

Шлангові протигази ізолюють органи дихання тільки від повітря, яке знаходиться в зоні робочого місця, автономні протигази - повністю від навколишнього повітря.

3. Захист органів зору. Для захисту очей від впливу шкідливих і небезпечних виробничих факторів застосовують захисні окуляри.

4. Захист шкірних покривів. Для захисту шкірних покривів застосовують спецодяг, спецвзуття та запобіжні пристосування. Знаходження обслуговуючого персоналу на робочому місці без спецодягу і спецвзуття категорично забороняється.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

5.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТІВ ЗА СТУПЕНЕМ НЕБЕЗПЕКИ, ТОКСИЧНОСТІ

Отруєння токсичними речовинами, що знаходяться в газоподібному або пароподібному стані, або у вигляді пилу, можливо тільки при їх концентрації в повітрі робочої зони, що перевищують певну межу. За ступенем впливу на організм шкідливі речовини підрозділяються на чотири класи шкідливості [20]:

1й - надзвичайно небезпечні (ГДК менше 0,1 мг/м³);

2й - високо небезпечні (ГДК 0,1 - 1,0 мг/м³);

3й - помірно небезпечні (ГДК 1,1 - 10,0 мг/м³);

4й - малонебезпечні (ГДК більше 10,0 мг/м³).

Ацетон токсичний. За даними ГДК ацетону становить 200 мг/м³ (середньозмінна за 8 годин) і 800 мг/м³ (максимально-разова) [20].

Ацетон отруйний, але відноситься до малонебезпечних речовин (клас безпеки IV, категорія безпеки для здоров'я по NFPA - 1). Сильно дратує слизисті оболонки: тривале вдихання високих концентрацій парів призводить до виникнення запалення слизових оболонок, набряку легенів і токсичної пневмонії. Пари надають слабку наркотичну дію, що супроводжується, найчастіше, дисфорією. При попаданні всередину викликає стан сп'яніння, що супроводжується слабкістю і запамороченням, нерідко - болями в животі; в істотних кількостях виникає виражена інтоксикація, хоча, як правило, отруєння ацетоном не смертельні. Можливе ураження печінки (токсичний гепатит), нирок (зменшення діурезу, поява крові і білка в сечі) і коматозний стан. При інгаляційному впливі ацетон виводиться набагато повільніше (протягом декількох годин), ніж надходить, і тому може накопичуватися в організмі [20].

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ВИСНОВОК

В рамках бакалаврської роботи було розглянуто виробництво ацетону та розрахована ректифікаційна тарілчаста колона для розділу суміші ацетон-вода продуктивністю 6000 т/рік.

Розглянуто теоретичні основи процесу ректифікації. Описано характеристики готового продукту у вигляді технічного ацетону. Зроблено літературний огляд технологій виробництва ацетону. Розглянута ректифікаційна установка та описано принцип її роботи.

Розглянута конструкція тарілчастих ректифікаційних колон. В рамках літературного огляду була обрана ковпачкова тарілка, і розписано її переваги

У ході роботи була розрахована ректифікаційна колона продуктивністю 6000 т/рік. Цей апарат та його складальні вузли зображені на кресленнях.

При розрахунку апарату було враховано теоретичні основи процесу. Виконано конструктивні розрахунки, завдяки яким визначено основні габарити апарату. Виконано розрахунки на міцність, завдяки яким перевірено на міцність колони (розрахована товщина стінок апарату, підібрана опора та перевірена герметичність фланцевих з'єднань).

У ході роботи також були підібрані випарник для кубової рідини та дефлегматор для конденсації парів.

Розглянуто основні правила монтажу та ремонту апарату, обґрунтована охорона праці та техніка безпеки під час роботи в ректифікаційному цеху.

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теддер Дж., Нехватал А., Джуэбб А. Промышленная органическая химия. — Москва : Мир, 1977. — 704 с.
2. CRC Handbook of Chemistry and Physics / Lide, D. R., editor. — 86th. — Boca Raton (FL) : CRC Press, 2005. — 2656 p. — ISBN 0-8493-0486-5.
3. ГОСТ 2768-84 Ацетон технический. Технические условия
4. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Москва, Химия, 1983, 272 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов – 7-е изд. – М.: Госхимиздат, 1961. – 831 с.
6. Баранов Д. А. Ректификация [Электронный ресурс] / Д. А. Баранов – Режим доступа до ресурсу: <https://bigenc.ru/chemistry/text/3504858>.
7. Ullmann, Enzyklopadie der technischen Chemie, München, Bd. 1, 1951, S. 106.
8. Катализ в промышленности. В 2-х томах. Т. 2 / А. Слейт [и др.] ; пер. с англ. А.Н. Караванова ; под ред. Б. Лича. - М. : Мир, 1986. - 292 с.
9. Закошанский В. М. Кумольный процесс получения фенола-ацетона / В. М. Закошанский. // Нефтехимия. – 2007. – №47 (4). – С. 301–313.
10. John H. Northrop, Lauren H. Ashe, R. R. Morgan. A Fermentation Process for the Production of Acetone and Ethyl Alcohol. // Journal of Industrial & Engineering Chemistry. — 1919-08. — Т. 11, вып. 8. — С. 723–727. — ISSN 1943-2968 0095-9014, 1943-2968. — doi:10.1021/ie50116a006
11. Аппаратура процессов разделения гомогенных и гетерогенных систем [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://studfile.net/preview/6658339/page:5/>.
12. Соколов В.Н. (ред.) Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский,

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

А.С. Решанов, В.Н. Соколов. / Под общ. ред. В.Н. Соколова. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Политехника, 1992. - 327 с.

13. Лукашов В. К. Методичні вказівки і тематика курсового проектування з дисципліни «Процеси та апарати хімічних виробництв» для спеціальності 7.091605 «Хімічна технологія ВМС», для денної та заочної форми навчання / В.К.Лукашов – 2006 – 47 с.

14. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. 5-е изд., стереотип. — М. : Химия, 1968. — 847 с.: 400 рис., 35 табл.

15. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл.-корр. АН СССР П. Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

16. Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств примеры и задачи. - Ленинград: «Машиностроение», 1984. - 303 с.

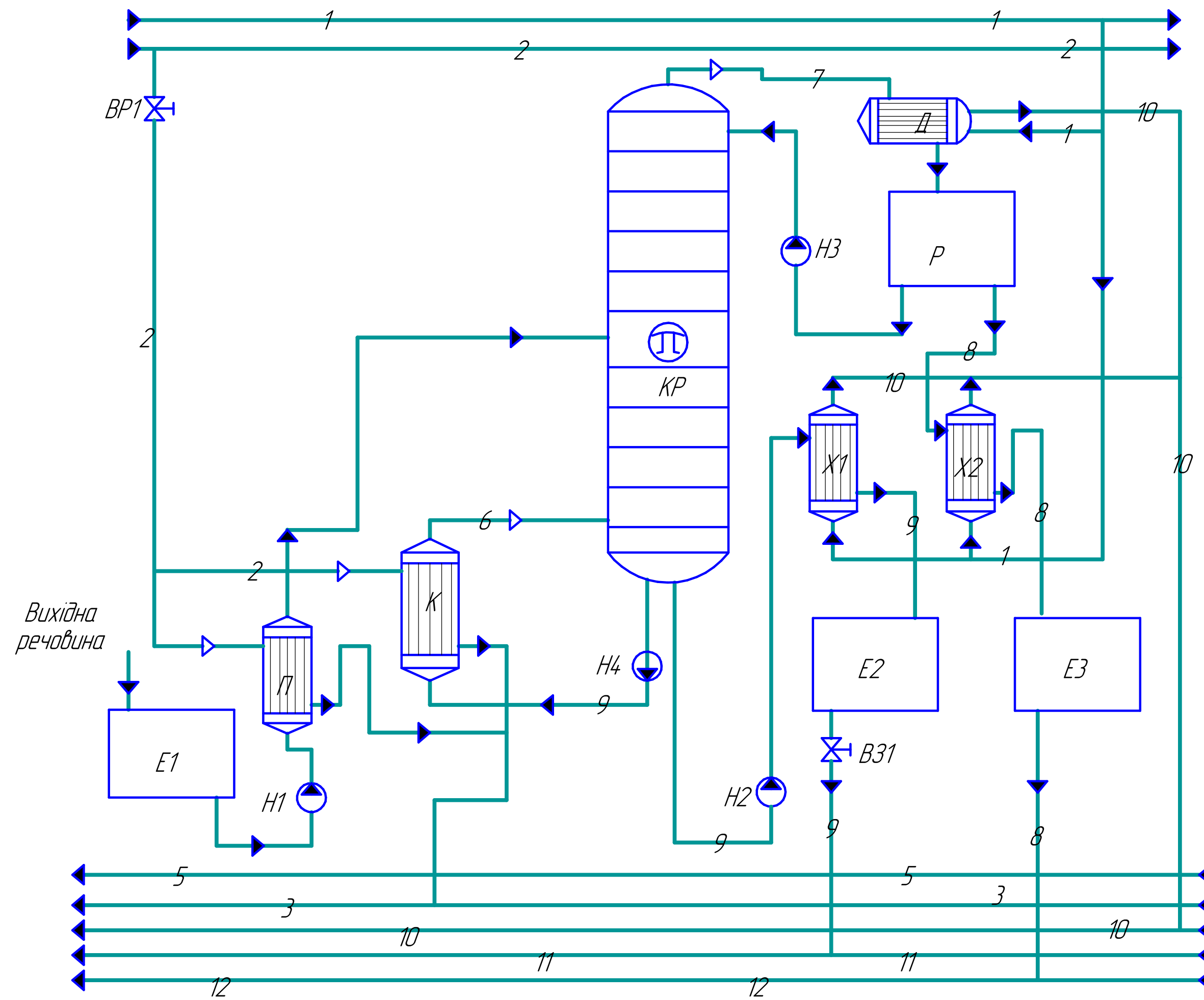
17. МОНТАЖ РЕКТИФИКАЦИОННЫХ КОЛОНН [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://sinteztnk.ru/ru/otrasli/neftegazovaya-promyshlennost/montazh-rektifikacionnykh-kolonn/>.

18. Ремонт колонных аппаратов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://чхмт.рф/учебник/montag/500.php>.

19. Техника безопасности при эксплуатации ректификационной колонны. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.namvd.ru/tehnika-bezopasnosti-pri-ekspluatacii-rektifikacionnoi-kolonny/>.

20. ГОСТ 2603-79 Ацетон. Технические условия

					ПОХНВ.Р.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72



Умовне позначення	Характеристика середовища
1 ---- ? ---- 1	вода (подача)
2 ---- ? ---- 2	пара
3 ---- ? ---- 3	конденсат
4 ---- ? ---- 4	вихідна суміш
5 ---- ? ---- 5	каналізація
6 ---- ? ---- 6	паро-рідинна суміш
7 ---- ? ---- 7	пари дистиллята
8 ---- ? ---- 8	дистиллят
9 ---- ? ---- 9	кубовий залишок
10 ---- ? ---- 10	вода
11 ---- ? ---- 11	вторинна сировина
12 ---- ? ---- 12	готова продукція

Позначення	Найменування	Кількість
КР	Колонна ректифікаційна	1
Д	Дефлегматор	1
К	Кип'ятильник	1
П	Підігрівач	1
Х1-2	Холодильник	2
Е1-3	Ємність	4
Н1-4	Насос	3
ВЗ1	Вентиль запірний	1
ВР1	Вентиль регулюючий	1
Р	Розділювач	1

Перв. примен.
Стор. №
Підп. і дата
Інд. № дідл.
Інд. № лодл.
Інд. № лодл.
Інд. № лодл.

ПОХНВ.Р.00.00.00 СЗ				Установка ректифікаційна			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Малюженко В.А.						
Проб.	Банишевський						
Т.контр.					Лист	Листов	1
Реценз.					ШІСумДУ		
Н.контр.					зр. ХМ-71ш		
Утв.					Формат А2		

Копіював