

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри

підпис, дата

Кваліфікаційна робота бакалавра
зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
освітня програма "Обладнання нафто-
та газопереробних виробництв"

Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші ацетон – етиловий спирт. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками / Distillation unit for separation of acetone – ethyl alcohol mixture. Develop a distillation column with sieve plates

Виконав:

студент групи ХМ-81/2хо

Коротун Владислав Валерійович

підпис

Залікова книжка

№ 20510111

Кваліфікаційна робота бакалавра
захищена на засіданні ЕК

з оцінкою _____

" ____ " _____ 20 ____ р.

Підпис голови
(заступника голови) комісії

Керівник:

канд. техн. наук, доцент

Михайловський Я.Е.

підпис, дата

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра хімічної інженерії

Спеціальність 133 "Галузеве машинобудування"
Освітня програма "Обладнання нафто- та газопереробних виробництв"

Курс 4 Група ХМ-81/2хо Семестр 8

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студенту Коротуну Владиславу Валерійовичу

1 Тема роботи: Ректифікаційна установка для розділення суміші ацетон – етиловий спирт. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками / Distillation unit for separation of acetone – ethyl alcohol mixture. Develop a distillation column with sieve plates

2 Вихідні дані: Розробити ректифікаційну колону для розділення суміші ацетон – етиловий спирт продуктивністю 4800 кг/год. за вихідною сумішшю. Вміст низькокиплячого компонента (% мол.): у вихідній суміші 30; у дистилаті 92; у кубовому залишку 3,5. Тип контактних пристроїв – ситчасті тарілки.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (аркуші А1):

1. Схема технологічна ректифікаційної установки – 1,0 арк.
2. Складальне креслення колони ректифікаційної – 1,0 арк.
3. Складальне креслення тарілки ситчастої – 1,0 арк.

4 Рекомендована література: 1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : СумДУ, 2019. – 32 с.; 2. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1973. – 752 с.

5 Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

Етапи та розділи проектування	ТИЖНІ				
	1	2,3	4,5	6,7	8
1 Вступна частина	x				
2 Технологічна частина		xx			
3 Проектно-конструкторська частина			xx		
4 Розробка креслень				xx	
5 Оформлення записки					x
6 Захист роботи					x

6 Дата видачі завдання

жовтень 2021 р.

Керівник

підпис

к.т.н., доц. Михайловський Я.Е.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 70 с., 10 рис., 1 додаток, 22 джерела.

Графічні матеріали: технологічна схема ректифікаційної установки, складальне креслення ректифікаційної колони, складальне креслення ситчастої тарілки – усього 3 аркуша графічної частини загальним обсягом 3,0×А1.

Тема кваліфікаційної роботи: «Ректифікаційна установка для розділення суміші ацетон – етиловий спирт. Розробити ректифікаційну колону з ситчастими тарілками / Distillation unit for separation of acetone – ethyl alcohol mixture. Develop a distillation column with sieve plates».

У роботі наведено теоретичні основи та особливості процесу ректифікації для розділення бінарних сумішей на окремі компоненти, виконані технологічні розрахунки процесу, визначені габаритні розміри апарата та його гідравлічний опір, обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення основних деталей та вузлів проєктованого апарата, розраховано і підібрано допоміжне обладнання (відцентровий насос та ємність вихідної суміші). Розрахунками на міцність і герметичність показана надійність роботи запроектованого апарату. Окремим розділом представлені монтаж і ремонт ректифікаційної колони та її елементів. У розділі «Охорона праці» розглянута пожежна профілактика під час проєктування і будівництва промислових підприємств, а також класифікація приміщень за ступенем пожежної небезпеки та вибухопожежонебезпеки.

Ключові слова: СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНА, РЕКТИФІКАЦІЙНА КОЛОНА, СИТЧАСТА ТАРІЛКА, АЦЕТОН, ЕТАНОЛ, ПОЖЕЖА, ПРОФІЛАКТИКА.

ЗМІСТ

ВСТУП	С. 5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки	7
1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації	10
1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів	19
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТА	24
2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу	24
2.2 Технологічні розрахунки	27
2.3 Конструктивні розрахунки	34
2.4 Гідравлічний опір апарата	39
2.5 Вибір допоміжного обладнання	44
3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ	50
3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки	50
3.2 Розрахунок опори апарата	53
4 МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТА	56
4.1 Монтаж розробленого апарата	56
4.2 Ремонт апарата	58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	68
ДОДАТКИ	

					XI.P.00.00.00 ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Коротун</i>			Ректифікаційна колона з ситчастими тарілками Пояснювальна записка	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Михайловський</i>					4	70
<i>Реценз.</i>						СумДУ, ХМ-81/2хо		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Склабінський</i>						

ВСТУП

Колонні апарати застосовуються для проведення процесів, дуже поширених в хімічній техніці, що вимагають здійснення по можливості повного контакту між оброблюваними рідиною і газом або паром. До них відносяться такі дифузійні процеси, як абсорбція, десорбція, ректифікація, а також охолодження та зволоження промислових газів, мокре очищення газів та інші [1].

Ректифікація є одним зі способів розділення рідких сумішей, що заснований на різному розподілі компонентів суміші між рідкою і паровою фазами. У якості апаратів для проведення ректифікації використовуються ректифікаційні колони, які складаються із власне самої колони, де здійснюється протитечійне контактування пари і рідини, та пристроїв, в яких відбувається випаровування рідини і конденсація пари – куба і дефлегматора відповідно [1].

Загалом, колони являють собою судини, які виготовлені з матеріалів, стійких до дії оброблюваних речовин, розраховані на відповідний тиск. Висота колони зазвичай у кілька разів перевищує її діаметр. Форма перерізу є коло, але іноді буває квадратною або багатокутною, якщо колона зроблена з дерева або природного каменю. Через колони протитечією пропускаються оброблювані рідина і газ (або пара), рідина – самопливом звернувши вниз, а газ – знизу вгору.

Відповідно до застосовуваних внутрішніх контактних пристроїв розрізняють насадкові і тарілчасті колонні апарати. Основне призначення тарілок і насадки – поділ міжфазної поверхні і поліпшення контакту між рідиною і паром. Тарілки, як правило, забезпечуються пристроєм для переливу рідини. У якості насадки ректифікаційних колон зазвичай використовуються кільця, діаметр яких дорівнює їх висоті.

Для того, щоб максимально розвинути поверхню міжфазового контакту, вживають наступні заходи: поміщають всередину колони насадки, якими стікає оброблювана рідина; рідину розбризкують, завдяки чому поверхня зіткнення її

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

з газом або парою сильно збільшується; ділять апарат по висоті на кілька відсіків, змушуючи в кожній із них газ барботувати через шар рідини [2].

У даній кваліфікаційній роботі запроектована ректифікаційна колона з ситчастими тарілками, яка призначена для розділення бінарної суміші ацетон – етиловий спирт. Загалом кваліфікаційну роботу бакалавра виконано у відповідності до методичних вказівок [3].

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис технологічної схеми ректифікаційної установки

Процеси ректифікації проводять періодично або безперервно, у залежності від потужності виробництва при різних тисках.

Безперервна ректифікація має наступні переваги [1]:

- умови роботи установки, тобто кількість, склад, температура початкової суміші, тиск і витрати гріючої пари, витрати охолоджуючої води не змінюються в ході процесу, що дає можливість встановити точний режим, спростити обслуговування, проводити процес із допомогою програмного управління в оптимальних умовах, а це полегшує автоматизацію процесу;
- відсутні простоя між операціями, що підвищують продуктивність установки;
- витрата тепла менша, причому є можливим використання залишку тепла на підігрів початкової суміші в теплообміннику.

Завдяки переліченим перевагам, безперервну ректифікацію використовують, головним чином, у потужних виробництвах, а періодичні процеси – лише у невеликих, нерівномірно працюючих, виробництвах.

Технологічну схему ректифікаційної установки безперервної дії представлено на рис. 1.1. Сировиною, що надходить на установку розділення є бінарна суміш, тобто суміш, яка складається із двох компонентів: ацетону у кількості 30 % мол. – це низькокиплячий компонент; етилового спирту у кількості 70 % мол. – це висококиплячий компонент.

Ацетон $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ є найпростішою сполукою гомологічного ряду аліфатичних кетонів. Це безбарвна летка рідина із характерним запахом, що має температуру кипіння $56,5^\circ\text{C}$ (за нормальних умов). Необмежено змішується з водою та полярними органічними розчинниками, також в обмежених пропорціях змішується з неполярними розчинниками [4].

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

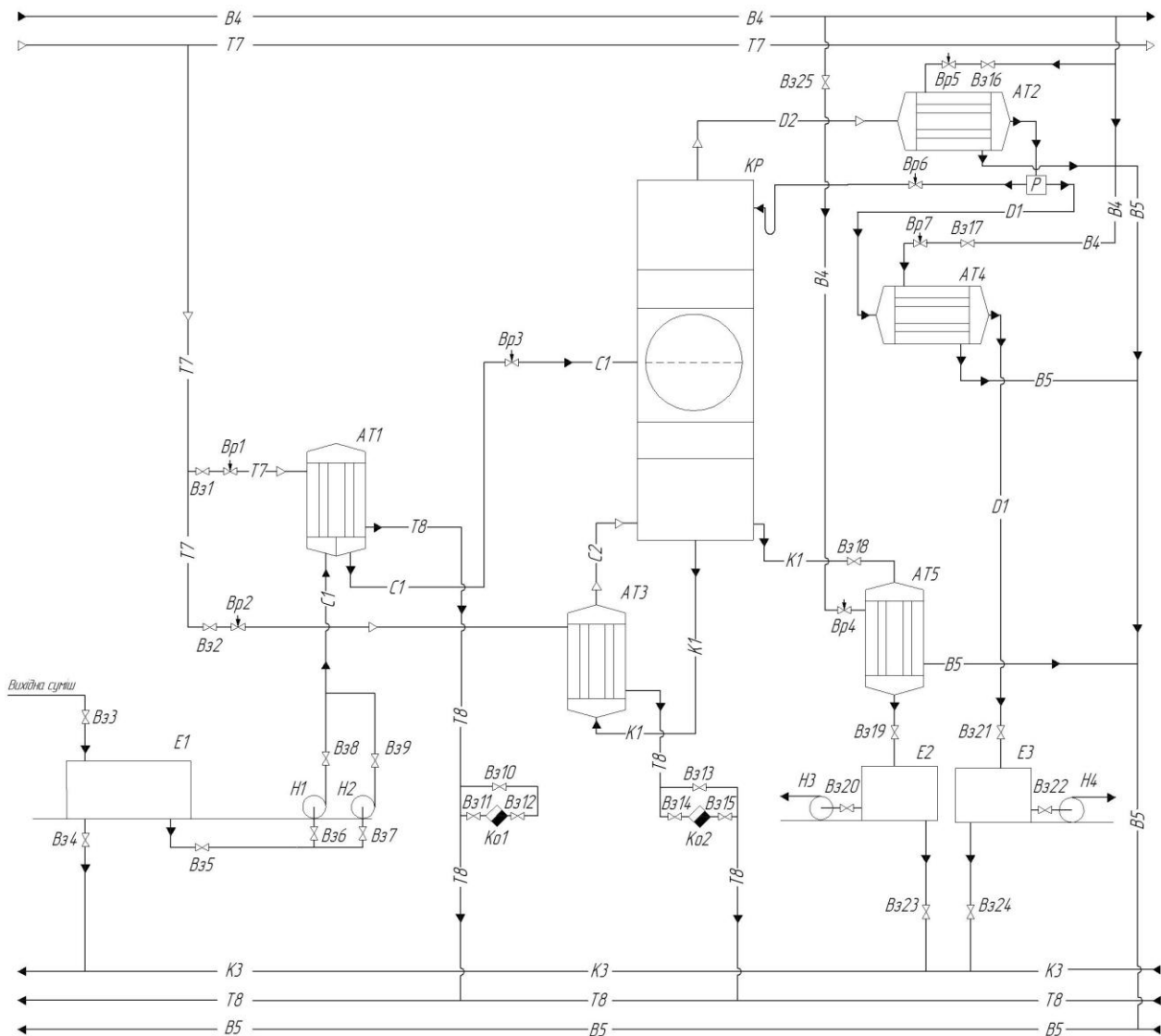


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки для розділення суміші ацетон – етиловий спирт

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 у якості полярного апротонного розчинника, а також для приготування охолоджувальних сумішей разом із сухим льодом і аміаком, ацетон є дуже корисним для миття хімічного посуду [5].

В Україні ацетон, відповідно до Постанови Кабінету Міністрів від 5 грудня 2012 р. № 1129 «Про затвердження переліку наркотичних засобів,

психотропних речовин і прекурсорів», є прекурсором, стосовно якого встановлюються заходи контролю. Крім того, таким же заходам контролю підлягають речовини, що містять не менш як 50 % ацетону.

Етанол (етиловий спирт, винний спирт) – це органічна сполука, представник ряду одноатомних спиртів складу C_2H_5OH (скорочено **EtOH**). За звичайних умов є безбарвною, легкозаймистою рідиною із температурою кипіння $78,29^{\circ}C$. Згідно із Національним стандартом України ДСТУ 4221:2003 етанол є токсичною речовиною з наркотичною дією, за ступенем впливу на організм людини належить до четвертого класу небезпечних речовин та має канцерогенні властивості [6].

Етанол є активною складовою спиртних напоїв, які зазвичай виготовляються ферментацією вуглеводів. Для промислових потреб етиловий спирт часто синтезують із нафтової та газової сировини каталітичною гідратацією етилену. Окрім виготовлення харчових продуктів етанол застосовується у великій кількості як пальне, розчинник, антисептик та сировина для отримання інших промислово важливих речовин [7].

Принцип роботи даної установки полягає у наступному. Бінарна суміш із первісної ємності за допомогою відцентрових насосів подається у підігрівач, де нагрівається до температури початку кипіння. Уже підігріта суміш спрямовується у секцію живлення атмосферної ректифікаційної колони з ситчастими тарілками. Тарілка живлення умовно розділяє колону на дві частини: верхню – зміцнюючу і нижню – вичерпну. На тарілці живлення склад рідини відповідає складу вихідної бінарної суміші.

У результаті розділення суміші з нижньої частини колони відводиться етанол, який спрямовується до споживача. Частина етанолу відбирається із нижньої частини колони і виходить у кип'ятильник, де відбувається його вскипання. Таким чином утворюється пара висококиплячого компоненту, який повертається під нижню тарілку ректифікаційної колони у якості парового зрошення.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

У верхній частині колони відбувається процес зміцнення пари низькокиплячим компонентом (ацетоном) за рахунок багатоступеневого контактування на масообмінних тарілках зі стікаючою зверху вниз флегмою. Пара, що відводяться з верхньої частини колони, надходять у дефлегматор, де конденсується у міжтрубному просторі апарату за рахунок відведення тепла холодоагенту, що рухається у трубному просторі. Частина отриманого конденсату відбирається і у вигляді флегми повертається в колону на зрошення її верхньої частини. Дистилят додатково охолоджується в холодильнику і спрямовується до відповідного збірника.

1.2 Теоретичні основи процесу ректифікації

Теоретичні основи досліджуваного процесу, які подано у цьому підрозділі, виконано шляхом аналізу літературних джерел [1, 2, 4].

На рис. 1.2 приведена схема, яка пояснює процес масопередачі між рідиною і газом (парою). Фази рухаються із певною швидкістю одна відносно одної і розділені рухомою поверхнею розділу.

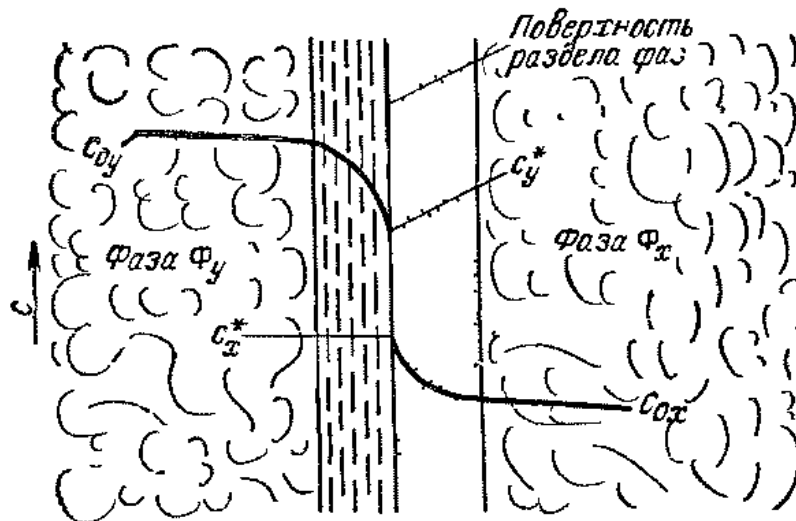


Рисунок 1.2 – Схема розподілу концентрацій у фазах в процесі масопередачі

Перенесення речовини M , що розподіляється, відбувається за умов турбулентного руху фаз. Прийmemo також, що речовина переходить із фази Φ_y ,

де концентрація речовини M вище рівноважної, в фазу Φ_X . Таким чином, здійснюється процес масовіддачі із основної маси фази Φ_Y до поверхні розділу фаз і процес масовіддачі від поверхні розділу до основної маси фази Φ_X . У результаті таких частинних процесів, а також подолання опору перенесення через саму поверхню розділу фаз (якщо він має суттєву величину), і відбувається процес масопередачі – перехід речовини із однієї фази в іншу.

Процес масопередачі найтіснішим чином пов'язаний зі структурою турбулентного потоку в кожній фазі. При турбулентному русі потоку біля твердої стінки утворюється ламінарний прикордонний шар. Аналогічно, у кожній фазі розрізняють ядро (основну масу фази) і прикордонний шар біля кордону фази. В ядрі речовина переноситься переважно турбулентними пульсаціями і концентрація розподіленої речовини в ядрі практично постійна. У прикордонному шарі відбувається поступове згасання турбулентності. Це виражається більш різкою зміною концентрації в міру наближення до поверхні розділення. Безпосередньо біля поверхні перенесення сильно сповільнюється, оскільки його швидкість вже визначається швидкістю молекулярної дифузії. У цій області спостерігається найбільш різка, близька до лінійного, зміна концентрації аж до кордону розділення фаз (див. рис. 1.2).

Такий характер зміни концентрацій пояснюється гальмуючою дією сил тертя між фазами і сил поверхневого натягу на кордоні рідкої фази. Дією цих сил обумовлена схожість між зміною концентрації розподіленої речовини при масовіддачі і зміною температур біля твердої стінки в процесі тепловіддачі.

Таким чином, при турбулентному русі в ядрі потоку фази перенесення до кордону розділення фаз здійснюється паралельно молекулярною і турбулентною дифузією, причому основна маса речовини переноситься за допомогою турбулентної дифузії. У прикордонному ж шарі швидкість перенесення лімітується швидкістю молекулярної дифузії. Відповідно для інтенсифікації масоперенесення бажано зменшувати товщину прикордонного

шару, підвищуючи ступінь турбулентності потоку, наприклад, шляхом збільшення (до певної межі) швидкості фази.

Механізм масовіддачі характеризується поєднанням молекулярного і конвективного перенесення. Ще більш складним є процес масопередачі, який містить у якості складових процеси масовіддачі по обидва боки кордону розділення фаз. У зв'язку із цим запропоновано ряд теоретичних моделей, що представляють собою в тій чи іншій мірі спрощені схеми механізму масоперенесення.

В основу більшості моделей покладені наступні припущення:

1. Загальний опір перенесенню із фази у фазу складається із опору двох фаз і опору поверхні розділення фаз. Однак, опір на поверхні розділення можна, у більшості випадків, вважати рівним нулю. Тоді, приймаючи, що процес перенесення в межах кожної фази протікає незалежно від іншої, загальний опір перенесення можна розглядати як суму фазових опорів.

2. На поверхні розділення фази знаходяться в рівновазі, причому рівновага на кордоні фази встановлюється значно швидше зміни середньої концентрації в ядрі фази.

Згідно плівкової моделі, кількість речовини q , яка перейшла через одиницю поверхні в одиницю часу, пропорційна різниці концентрацій в ядрі і на кордоні фази, якщо перенесення походить від ядра до поверхні розділення фаз:

$$q = \frac{D}{\delta_{EF}} \cdot (c_0 - c_{ГР}), \quad (1.1)$$

де c_0 і $c_{ГР}$ – відповідно середня концентрація в ядрі фази і концентрація на межі поділу фаз;

δ_{EF} – «ефективна» або «приведена» товщина прикордонної плівки.

Для фази по іншу сторону поверхні розділу величина q пропорційна різниці концентрацій на кордоні і в ядрі фази.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

У рівнянні (1.1) $D/\delta_{E\Phi}$ – коефіцієнт, що характеризує швидкість масовіддачі, а величина $\delta_{E\Phi}$ за своїм змістом – товщина деякого прикордонного шару, опір якого молекулярній дифузії еквівалентно опору перенесення, зумовленого в дійсності конвективною дифузією.

У плівковій моделі значно спрощено справжні гідродинамічні умови поблизу кордону розділення фаз, де відбувається загасання турбулентності. За цієї причини більшість дослідних даних не підтверджують залежності $q \sim D$, як випливає із рівняння (1.1), якщо вважати, що величина $\delta_{E\Phi}$ не залежить від D .

Крім того, ефективні товщини плівок практично не піддаються розрахунку або вимірюванню.

Провальні тарілки відрізняються від інших відсутністю зливних пристроїв. Висота шару рідини на провальних тарілках визначається лише швидкісним напором пари (газу), причому надмірна кількість рідини через отвори (щілини) в тарілках стікає прямо на тарілки, що розташовані нижче.

Висота колон визначається числом реальних тарілок і відстанню між ними, а в насадкових колонах – висотою насадки, еквівалентної необхідному числу теоретичних тарілок.

Коефіцієнт корисної дії колони i , отже, кількість тарілок залежить від багатьох факторів: інтенсивності режиму та пов'язаного з ним бризгоуносу, фізико-хімічними властивостями оброблюваних речовин, конструктивних факторів тощо. При обробці конкретної рідини найбільше впливає гідравлічний режим. Розробка ефективних конструкцій та визначення оптимальних розмірів тарілок, ковпачків, зливних пристроїв та інших деталей колони дуже важливі тому, що від них залежить можливість здійснення бажаного режиму та забезпечення найкращих умов масообміну.

При розрахунку теоретичної тарілки передбачається, що рідина і пара, що знаходиться над нею, знаходяться в повній термодинамічній рівновазі і залишаються нерухомими або рухаються паралельно, що є найменш сприятливим для перебігу процесу. Умови роботи більш сприятливі, якщо

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

дотичні рідини та газу переміщуються протитечією. Якщо при цьому рідина на тарілці не перемішуватиметься, умови процесу будуть оптимальними. Здійснити протитечію в апаратах з ковпачковими, ситчастими та клапанними тарілками неможливо. Лише апарати з провальними тарілками дають змогу здійснити протитечію. В апаратах з тарілками вдається здійснити лише перехресний ток, який за ефективністю займає проміжне положення між протитечією та паралельним током.

Ефективність роботи тарілок з перехресним током визначається такими величинами:

- навантаженням тарілки по газу та рідині;
- відстанню між тарілками;
- довжиною периметра барабана;
- глибиною занурення в рідину;
- величиною густини газу та рідини;
- ступенем перемішування.

Залежно від типу та пристрою колон для ефективного проведення процесу необхідно забезпечити максимальне бризко- та піноутворення та мінімальний бризгоунос. Поверхня дотику фаз у шарі піни набагато перевищує поверхню бульбашок газу під час пробулькування їх через рідину. З іншого боку, неприпустиме перенесення рідини з нижніх тарілок на верхні, тому що це знижує ККД тарілок і порушує роботу апарату.

Ковпачкові тарілки. Явище витікання газу з-під ковпачка в рідину дуже складне. При малих подачах газу відбувається пробулькування через рідину окремих бульбашок у безпосередній близькості до ковпачка (рис. 1.3, а). Прорізи в ковпачках при цьому мало відкриті, висота нейтрального шару, що не бере участі в процесі, значна, умови отримання міжфазового контакту погані, ККД низький. По мірі збільшення подачі газу бульбашки викидаються далі в шар рідини, рідина як би кипить, на ній утворюється шар піни та умови дотику газу та рідини покращуються.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

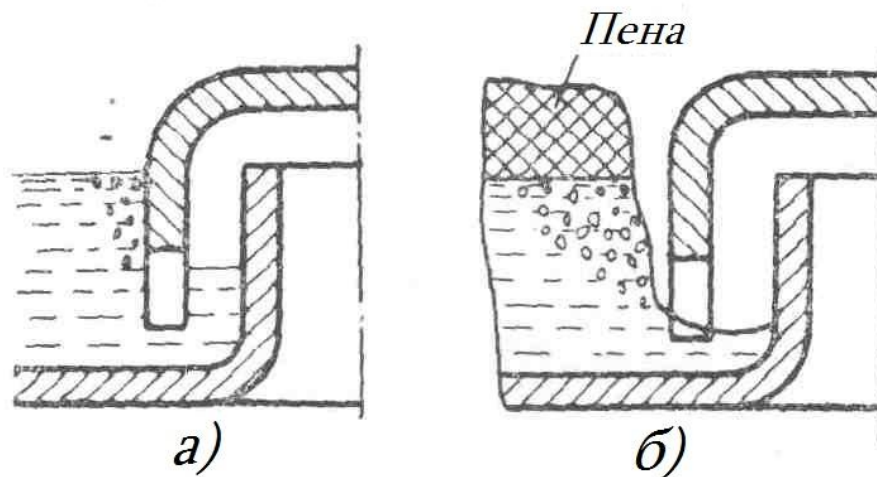


Рисунок 1.3 – Схема витікання газу з-під ковпаків

При подальшому збільшенні подачі газ виходить з-під ковпачка вже не окремими бульбашками, а суцільним потоком, спрямовується знизу вгору і відтісняє рідину таким чином, що навколо ковпачка утворюється кільцева щілина (рис. 1.3, б). Газ захоплює рідину, захоплює її вгору, внаслідок чого утворюється шар піни та велика кількість бризок. Поверхня дотику фаз та інтенсивність режиму при цьому сильно зростають.

Ситчасті тарілки. Ці типи тарілок є більш прості і дешевші за ковпачкові. Вони мають більшу пропускну здатність і вносять менший гідравлічний опір у порівнянні з ковпачковими. Ситчасті тарілки набули великого поширення в установках глибокого охолодження та дозволили сконструювати ефективні та високопродуктивні розділові агрегати.

Застосування ситчастих тарілок в інших галузях промисловості гальмувалося через недостатню вивченість роботи тарілок. У якості недоліків ситчастих тарілок зазвичай вказувалося:

- жорсткість режиму та неможливість коливання продуктивності у значних межах;
- стікання рідини з тарілок у разі зупинення роботи колони;
- чутливість тарілок до порушення горизонтальності їхньої установки;
- схильність малих отворів тарілок до засмічення та роз'їдання.

Сучасні дослідження показали, що при раціональній конструкції ситчастої тарілки допустимо коливання навантаження газу до 2–2,5 разів, що в багатьох випадках цілком достатньо. Тільки засмічення і корозія отворів і здатність деяких рідин утворювати стійку піну можуть послужити дійсними причинами відмови від ситчастих тарілок, що залишає все ж таки більш ніж достатнє поле для їх застосування.

Клапанні тарілки в порівнянні з ковпачковими мають більш високу ефективність та на 20–40 % більшу продуктивність. Вони застосовуються для обробки рідин не схильних до смолоутворення та полімеризації, щоб уникнути прилипання клапана до тарілки.

Провальні решітчасті тарілки мають продуктивність у 1,5–2 рази більшу, ніж ковпачкові тарілки, низьку металоємність. Їхня ефективність досить висока, але у вузькому діапазоні робочих швидкостей. Ці тарілки рекомендується застосовувати при великих навантаженнях колони рідини.

У відповідності до завдання на кваліфікаційний проект, у якості внутрішніх контактних пристроїв вибрані **ситчасті тарілки**.

Метою розрахунку ректифікаційної колони є визначення температури процесу і кількості відведеної теплоти, вибір швидкості пари, типу тарілок (для тарілчастих колон), розмірів і гідравлічного опору апарата [8, 9].

При проектуванні ректифікаційних установок, з яких газ відводиться в атмосферу, необхідно враховувати питання охорони навколишнього середовища – концентрація поглинаючого компонента в паровій фазі на виході з колони не повинна перевищувати гранично-допустимої (ГДК). Якщо це не досягається в одному апараті, то необхідно встановлювати додаткове обладнання.

Матеріальний баланс ректифікаційної колони.

За потоками:

$$G_F = G_D + G_W; \quad (1.2)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

За легколетючим компонентом:

$$G_F X_F = G_D X_D + G_W X_W, \quad (1.3)$$

де G_F , G_D , G_W – масові або мольні витрати живлення, дистилляту та кубового залишку відповідно;

X_F , X_D , X_W – вміст легколетучего компонента в живленні, дистилляті і кубовому залишку відповідно.

Тепловий баланс ректифікаційної колони.

Прихід тепла:

- з теплоносієм в кип'ятильнику Q_K ;
- з вихідною сумішшю Q_F ;
- з флегмою Q_Φ .

Витрата тепла:

- з парами, які надходять з колони в дефлегматор Q_G ;
- із залишком Q_W ;
- втрати в навколишнє середовище $Q_{ВТР}$.

Таким чином, рівняння теплового балансу:

$$Q_K + Q_F + Q_\Phi = Q_G + Q_W + Q_{ВТР}. \quad (1.4)$$

При роботі колони в адіабатичних умовах і рівності молярних теплот випаровування компонентів в кожному перетині зміцнюючої частини (вище введення живлення) концентрація ЛЛК в парі пов'язана з його концентрацією в рідині рівнянням (робоча лінія):

$$y = x \frac{R}{R+1} + \frac{x}{R+1}, \quad (1.5)$$

де $R = \Phi / D$ – флегмове число.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Рівняння робочої лінії для вичерпної частини колони (нижче введення живлення):

$$y = x \frac{R + f}{R + 1} + x_w \frac{1 - f}{R + 1}, \quad (1.6)$$

де $f = F / D$.

Залежність між граничними, або рівноважними, концентраціями розподілюваної речовини в фазах зображується графічно і називається рівноважною лінією.

Положення робочих ліній безперервної ректифікації на y - x -діаграмі відображено на рис. 1.4.

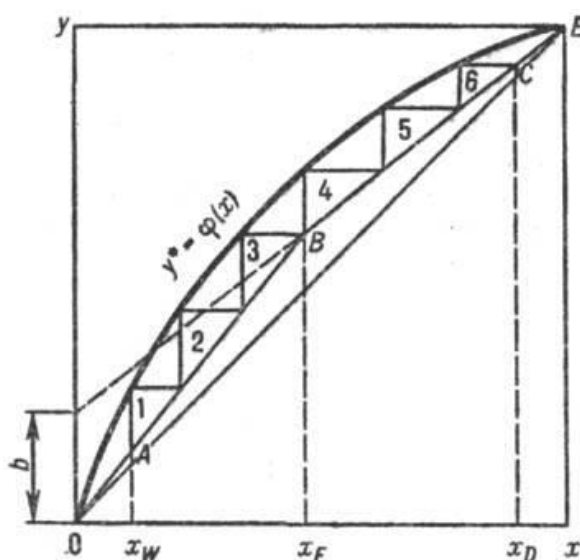


Рисунок 1.4 – Графічне визначення числа теоретичних тарілок:

OE – рівноважна крива; AB і BC – робочі лінії для зміцнюючої в вичерпної частин колони; 1–6 – тарілки

Для аналізу роботи колони, розрахунку складу дистилляту і залишку і розподілу концентрацій ЛЛК по висоті апарату використовують поняття про теоретичні ступені поділу, або теоретичні тарілки (T_T). Така ступінь (тарілка) відповідає деякій гіпотетичній ділянці апарату, де рідина і пар знаходяться в

рівновазі. Число $T_T (n_T)$, необхідне для отримання дистилату і залишку заданого складу, можна знайти графічно за допомогою $y-x$ -діаграми (рис. 1.4), описує залежність між рівноважними молярними концентраціями парової (y^*) і рідкої (x) фаз.

Для визначення n_T на графіку будують ступінчасту лінію між рівноважною кривою $y^* = f(x)$ і ламаною лінією ABC. Лінія AB відповідає рівнянню (1.6), лінія BC – рівнянню (1.5). У представленому прикладі для поділу вихідної суміші на дистилат складу X_D і залишок складу X_W потрібно по 3 T_T в зміцнюючій і вичерпній частинах колони.

1.3 Опис об'єкта розроблення та вибір основних конструкційних матеріалів

Тарілчасті колони застосовуються для великої продуктивності, широкого діапазону змін навантажень за паровою фазою і рідиною та можуть забезпечити досить чітке розділення сумішей. Недоліком таких апаратів є відносно високий гідравлічний опір. Але в умовах ректифікації це не має суттєвого значення, адже підвищення гідравлічного опору призводить лише до деякого збільшення тиску і відповідно до підвищення температури кипіння рідини в кип'ятильнику колони [9].

Барботажні колони є найпоширенішим типом колонних апаратів. Робочий простір барботажних колон розділений на кілька камер тарілками. На кожній тарілці підтримується шар рідини. Послідовно через шари рідини, число яких дорівнює числу тарілок, пробулькує газ або пара.

У нашому випадку об'єктом дослідження є ректифікаційна колона з ситчастими тарілками (рис. 1.5). Апарат конструктивно складається із циліндричної обичайки, до якої за допомогою фланцевого з'єднання і зварювання прикріплені еліптична кришка і еліптичне днище відповідно.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

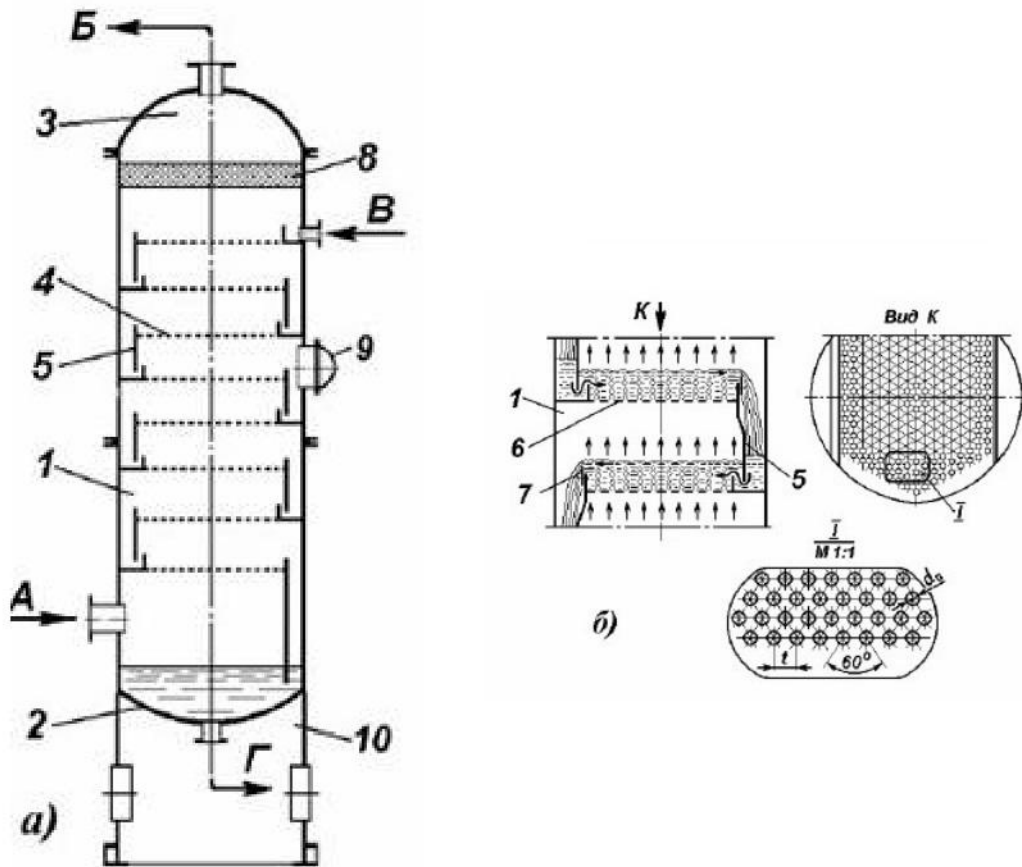


Рисунок 1.5 – Ескіз ректифікаційної колони (а) і схема роботи ситчастої тарілки (б): 1 – корпус; 2 – днище; 3 – кришка; 4 – ситчаста тарілка; 5 – переливна стінка; 6 – полотно тарілки; 7 – переливна планка; 8 – бризковловлювач; 9 – люк-лаз; 10 – циліндрична опора

Усередині корпусу горизонтально встановлені контактні пристрої у вигляді ситчастих тарілок. За допомогою тарілок створюється спрямований рух фаз і забезпечується багаторазова взаємодія рідини і пари.

Ситчасті тарілки, у порівнянні з ковпачковими, мають більшу продуктивність на 30–60%, але робочий діапазон, зазвичай, не перевищує 2,5. Металоємність становить 50–65 кг/м². Тарілки вельми чутливі до точності горизонтальної установки і не рекомендуються для роботи із забрудненими і смолистими середовищами, тому що можливе забивання отворів.

Ситчасті тарілки зі зливним пристроєм застосовують у колонних апаратах діаметром 400–4000 мм при відстані між тарілками від 200 мм і більше. Основний елемент таких тарілок – металевий диск з отворами діаметром 2–6 мм, розташованими по вершинах рівносторонніх трикутників (рис. 1.5, б).

У колонах діаметром більше 800 мм тарілки складаються з окремих секцій. По кріпленню секцій тарілки до корпусу і пристрою переливів такі колони аналогічні апаратам з ковпачковими і клапанними тарілками.

Перевага ситчастих тарілок – великий вільний (тобто зайнятий отворами) перетин тарілки, а, отже, і висока продуктивність за парою, простота виготовлення, мала металоємність. За продуктивністю за парою (газом) ці тарілки на 30–60 % перевершують ковпачкові. Недолік – висока чутливість до точності установки.

На колоні також передбачені технологічні штуцери для обв'язки апарата технологічними трубопроводами та підключення до технологічної лінії. Також до корпусу колони знизу приварена циліндрична опора, яка забезпечена лапами для кріплення до фундаменту.

Принцип роботи ректифікаційної колони полягає у наступному. Попередньо підігріта до температури кипіння з метою зменшення теплового навантаження кип'ятильник бінарна суміш (ацетон – етиловий спирт), подається на живильну тарілку колони, де склад рідини приблизно дорівнює складу вихідної суміші x_F . У нашому випадку живильною є 16 тарілка. Вона умовно поділяє колону на дві частини, які мають різне призначення. Та частина колони, яка знаходиться вище живильної тарілки (від живильної до верхньої тарілки), забезпечує якомога більше зміцнення, парів – збагачення їх легколетучим компонентом (ацетоном). Ця частина колони називається зміцнюючою.

Та частина колони, яка розташована нижче живильної тарілки (від живильної до нижньої тарілки), забезпечує видалення із рідини легколетучого

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

компонента, тобто вичерпує рідину для того, щоб в кип'ятильник стікала рідина, близька за складом до чистого низькокиплячого компоненту (етилового спирту).

Таким чином, дана ректифікаційна колона є повною, тобто включає дві зони. Повні ректифікаційні колони використовуються у випадках, якщо потрібно отримати дистилят із вмістом низькокиплячого компонента (НКК) в ньому значно більшому в живленні, і кубовий залишок – із вмістом висококиплячого компонента (ВКК) в ньому набагато більшим, ніж у живленні.

Знизу вгору по колоні рухається пара, яка надходить під нижню тарілку колони з кип'ятильника, що знаходиться поза колоною, тобто є виносним. Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє із парою, яка підіймається вгору. Початковий склад пари приблизно дорівнює складу кубового залишку x_w , тобто збіднений легколетучим компонентом. У результаті масообміну з рідиною пара збагачується легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмового числа рідиною (флегмою) складу x_D .

У хімічній промисловості умови роботи апаратів характеризуються широким діапазоном температур – приблизно від мінус 254 до плюс 2500°C при тисках від 0,015 Па до 600 МПа при агресивному впливі середовищ [10].

Основними вимогами, яким повинні відповідати хімічні апарати, є механічна надійність, довговічність, конструктивну досконалість, простота виготовлення, зручність транспортування, монтажу та експлуатації [10–12].

Тому до конструкційних матеріалів проекрованої апаратури висувають наступні вимоги [11]:

- 1) висока корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах при робочих параметрах процесу;
- 2) висока механічна міцність при заданих робочих тисках, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічних випробуваннях та експлуатації апаратів;

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

3) гарна зварюваність матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;

4) низька вартість і доступність матеріалів.

Здійснимо підбір конструкційного матеріалу для виготовлення основних деталей і вузлів ректифікаційної колони. Підбір здійснюємо, враховуючи значення температури та тиску, а також агресивність робочого середовища.

Для деталей колони, які контактують із робочим середовищем, вибираємо матеріал – нержавіючу та корозійно стійку сталь 12Х18Н10Т; матеріал опори – сталь ВСтЗсп; для усіх інших елементів – сталь Ст 3.

У якості прокладкового матеріалу (для ущільнення з'єднань) використовуємо пароніт ПОН-1 – це листовий матеріал, виготовлений пресуванням азбокаучукової маси, що складається із азбесту, каучуку і порошкових інгредієнтів.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПРОЦЕСУ І АПАРАТА

2.1 Матеріальний та тепловий баланси процесу

Оскільки продуктивність колони за вихідною сумішшю задана в кг/год., необхідно перевести мольні частки легколеткого компоненту в продуктах у масові:

$$\frac{\rightarrow}{x_f} = x_f * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_f} = x_f * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_{\text{ЛЛК}} * x_f + M_{\text{ВЛК}} * (1 - x_f)}, \quad (2.1)$$

$$\frac{\rightarrow}{x_f} = x_f * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_f} = 0,3 * \frac{58}{58 * 0,3 + 46 * (1 - 0,3)} = 0,351$$

$$\frac{\rightarrow}{x_d} = x_d * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_d} = x_d * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_{\text{ЛЛК}} * x_d + M_{\text{ВЛК}} * (1 - x_d)}, \quad (2.2)$$

$$\frac{\rightarrow}{x_d} = x_d * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_d} = 0,92 * \frac{58}{58 * 0,92 + 46 * (1 - 0,92)} = 0,935$$

$$\frac{\rightarrow}{x_w} = x_w * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_w} = x_w * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_{\text{ЛЛК}} * x_w + M_{\text{ВЛК}} * (1 - x_w)}, \quad (2.3)$$

$$\frac{\rightarrow}{x_w} = x_w * \frac{M_{\text{ЛЛК}}}{M_w} = 0,035 * \frac{58}{58 * 0,035 + 46 * (1 - 0,035)} = 0,044$$

де M_f , M_d , M_w , $M_{\text{ЛЛК}}$, $M_{\text{ВЛК}}$ – мольні маси відповідно вихідної суміші, дистилляту, кубового залишку, легколеткого і важколеткого компонентів.

У відповідності до схеми (рис. 2.1), матеріальний баланс ректифікаційної колони складається:

за потоками

$$G_f = G_d + G_w \quad (2.4)$$

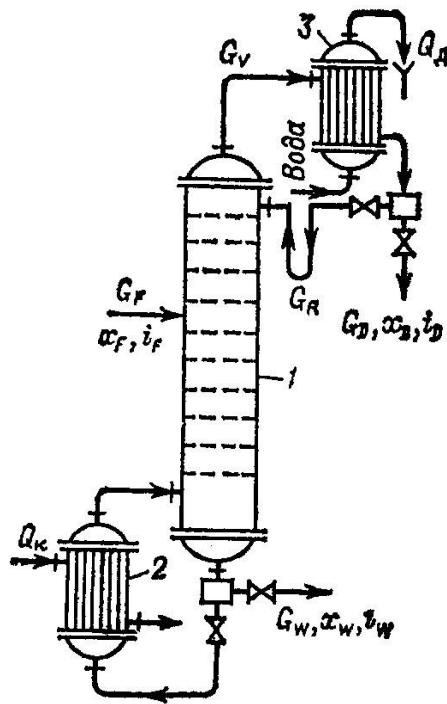


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема ректифікаційної колони:

1 – колона; 2 – куб-випарник; 3 – дефлегматор

$$G_f = 0,459 + 0,874 = 1,333 \text{ кг/с}$$

і за легколетким компонентом

$$G_f \bar{x}_f = G_d \bar{x}_d + G_w \bar{x}_w \quad (2.5)$$

Спільне розв'язання рівнянь (2.4) і (2.5) дозволяє одержати залежності для визначення масових витрат дистилляту:

$$G_d = G_f * \frac{\bar{x}_f - \bar{x}_w}{\bar{x}_d - \bar{x}_w}, \quad (2.6)$$

$$G_d = \frac{4800}{3600} * \frac{0,351 - 0,044}{0,935 - 0,044} = 0,459 \text{ кг/с}$$

і кубового залишку:

$$G_w = G_f * \frac{\bar{x}_d - \bar{x}_f}{\bar{x}_d - \bar{x}_w}, \quad (2.7)$$

$$G_w = \frac{4800}{3600} * \frac{0,935 - 0,351}{0,935 - 0,044} = 0,874 \text{ кг/с}$$

Криву рівноваги для процесу ректифікації будують в координатах $y - x$ за довідковими даними про рівноважні склади рідини і пари для різних бінарних розчинів залежно від температури. Для того, щоб на діаграмі $y - x$ визначити положення робочих ліній, потрібно знайти мінімальне і робоче флегмові числа.

Мінімальне флегмове число визначаємо за рівнянням:

$$R_{min} = \frac{x_d - y_f^*}{y_f^* - x_f}, \quad (2.8)$$

де y_f^* – склад пари, що перебуває в рівновазі з вихідною сумішшю.

$$R_{min} = \frac{0,92 - 0,524}{0,524 - 0,3} = 1,768$$

Флегмове число визначаємо за залежністю:

$$R = \beta * R_{min}, \quad (2.9)$$

$$R = 1,3 * 1,768 = 2,298$$

Значення робочого флегмового числа вирішальним чином впливає на розміри ректифікаційної колони і дозволяє розрахувати масові витрати флегми, що стікає по колоні:

$$G_r = R * G_d, \quad (2.10)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

$$G_r = 2,298 * 0,459 = 1,055 \text{ кг/с}$$

і парів, що піднімаються,

$$G_V = G_R + G_d = (R + 1) * G_d \quad (2.11)$$

$$G_V = (2,298 + 1) * 0,459 = 1,514 \text{ кг/с}$$

2.2 Технологічні розрахунки

Положення робочих ліній визначають рівняннями:

– для верхньої частини колони

$$y = \frac{R}{R+1} * x + \frac{x_d}{R+1} \quad (2.12)$$

$$y = \frac{2,298}{2,298 + 1} * 0,3 + \frac{0,92}{2,298 + 1} = 0,488$$

– для верхньої частини колони

$$y = \frac{F+R}{R+1} * x - \frac{F-1}{R+1} * x_w \quad (2.13)$$

де F – число живлення (відношення мольних витрат вихідної суміші та дистиляту):

$$F = \frac{G_f}{G_d} * \frac{M_d}{M_f} \quad (2.14)$$

$$F = \frac{4800}{3600} * \frac{57.04}{49.6} = 3,341$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$y = \frac{3,341 + 2,298}{2,298 + 1} * 0,3 - \frac{3,341 - 1}{2,298 + 1} * 0,035 = 0,488$$

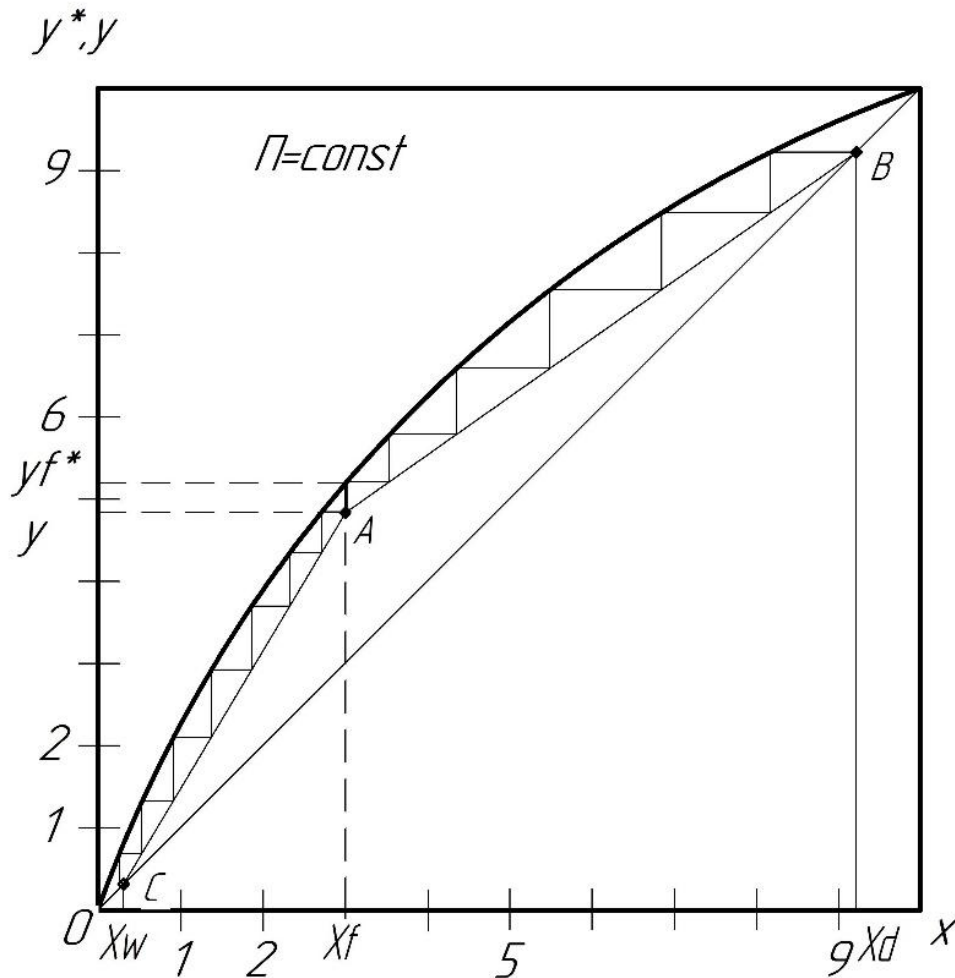


Рисунок 2.2 – Побудова рівноважної та робочих ліній на діаграмі $y - x$ та графічне визначення числа теоретичних тарілок у ректифікаційній колоні:

AB – робоча лінія верхньої частини колони;

AC – робоча лінія нижньої частини колони

Ординату точки А (див. рис. 2.2), де перетинаються робочі лінії, визначають за рівнянням (2.13) або (2.14) підстановкою в них замість x значення x_f :

$$y_f' = \frac{R}{R+1} * x_f + \frac{x_d}{R+1} \quad \text{або} \quad y_f'' = \frac{F+R}{R+1} * x_f - \frac{F-1}{R+1} * x_w$$

Рівність значень свідчить про відсутність помилок у виконаних розрахунках.

Середні мольні концентрації рідини визначають за середньоарифметичними залежностями:

– у верхній частині колони

$$x'_{\text{ср}} = \frac{x_f + x_d}{2}; \quad (2.15)$$

$$x'_{\text{ср}} = \frac{(0,3 + 0,92)}{2} = 0,61 \text{ кг/м}^3$$

– у нижній частині колони

$$x''_{\text{ср}} = \frac{x_f + x_w}{2}; \quad (2.16)$$

$$x''_{\text{ср}} = \frac{(0,3 + 0,035)}{2} = 0,17 \text{ кг/м}^3$$

Середні мольні концентрації парової фази визначають за рівняннями робочих ліній:

– у верхній частині колони

$$y'_{\text{ср}} = \frac{R}{R+1} * x'_{\text{ср}} + \frac{x_d}{R+1} \quad (2.17)$$

$$y'_{\text{ср}} = \frac{2,298}{2,298+1} * 0,61 + \frac{0,92}{2,298+1} = 0,7 \text{ кг/м}^3$$

– у нижній частині колони

$$y_{\text{cp}}'' = \frac{F+R}{R+1} * x_{\text{cp}}'' - \frac{F-1}{R+1} * x_w \quad (2.18)$$

$$y_{\text{cp}}'' = \frac{3,341 + 2,298}{2,298 + 1} * 0.17 - \frac{3.341 - 1}{2,298 + 1} * 0.035 = 0.27 \text{ кг/м}^3$$

Середні температури фаз визначаємо за діаграмою $t - x - y$ (див. рис. 2.3), побудованою для заданої бінарної суміші. При цьому середні температури пари у верхній і нижній частинах колони визначають за верхньою гілкою, залежно від концентрацій, а середні температури рідини у верхній і нижній частинах колони – за нижньою гілкою залежно від концентрацій.

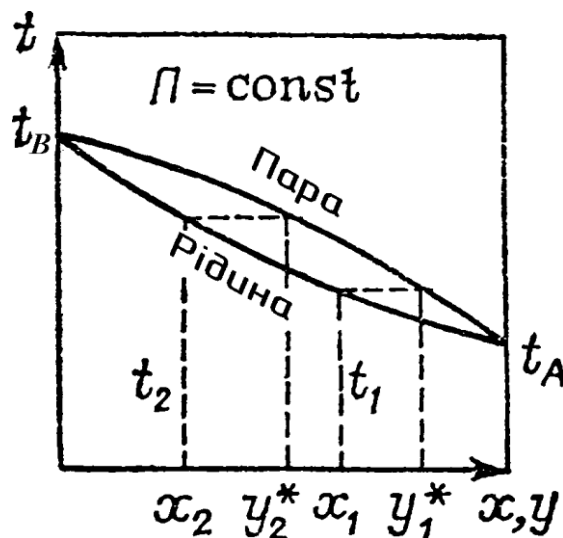


Рисунок 2.3 – Діаграма $t - x - y$ взаємнорозчинної бінарної суміші:

нижня гілка – температурна крива кипіння рідини;

верхня гілка – температурна крива конденсації пари

Середні мольні маси парів розраховують за залежностями:

– у верхній частині колони

$$M'_{\text{cp}} = y'_{\text{cp}} M_{\text{ллк}} + (1 - y'_{\text{cp}}) M_{\text{влк}}; \quad (2.19)$$

$$M'_{\text{ср}} = 0.7 * 58 + (1 - 0.7) * 46 = 54.4 \text{ г/моль}$$

– у нижній частині колони

$$M''_{\text{ср}} = y''_{\text{ср}} M_{\text{ллк}} + (1 - y''_{\text{ср}}) M_{\text{влк}}; \quad (2.20)$$

$$M''_{\text{ср}} = 0.27 * 58 + (1 - 0.27) * 46 = 49.24 \text{ г/моль}$$

Середні густини парів визначають за рівнянням Клапейрона:

– у верхній частині колони

$$\rho'_y = \frac{M'_{\text{ср}} * 273}{22.4 * (273 + t'_y)}; \quad (2.21)$$

$$\rho'_y = \frac{54.4 * 273}{22.4 * (273 + 61,1)} = 1,98 \text{ кг/м}^3$$

– у нижній частині колони

$$\rho''_y = \frac{M''_{\text{ср}} * 273}{22.4 * (273 + t''_y)}; \quad (2.22)$$

$$\rho''_y = \frac{49,24 * 273}{22,4 * (273 + 73,9)} = 1,73 \text{ кг/м}^3$$

Середні густини рідини знаходимо за правилом адитивності:

– у верхній частині колони

$$p'_x = x'_{\text{ср}} * p'_{\text{ллк}} + (1 - x'_{\text{ср}}) * p'_{\text{влк}}; \quad (2.23)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$p'_x = 0,61 * 746 + (1 - 0,61) * 754 = 749,12 \text{ кг/м}^3$$

– у нижній частині колони

$$p''_x = x''_{\text{ср}} * p''_{\text{ллк}} + (1 - x''_{\text{ср}}) * p''_{\text{влк}}; \quad (2.24)$$

$$p''_x = 0,17 * 732 + (1 - 0,17) * 745 = 742,79 \text{ кг/м}^3$$

де $p'_{\text{ллк}}$, $p''_{\text{ллк}}$, $p'_{\text{влк}}$, $p''_{\text{влк}}$ – густини рідких легколеткого і важколеткого компонентів за температур t'_x і t''_x відповідно.

Середні в'язкості рідини обчислюємо за формулами:

– у верхній частині колони

$$\lg \mu'_x = x'_{\text{ср}} * \lg \mu'_{\text{ллк}} + (1 - x'_{\text{ср}}) * \lg \mu'_{\text{влк}}; \quad (2.25)$$

$$\lg \mu'_x = 0,61 * \lg 0,23 + (1 - 0,61) * \lg 0,591 = -0,48 \text{ Па} * \text{с}$$

$$\mu'_x = 0,331 \text{ мПа} * \text{с}$$

– у нижній частині колони

$$\lg \mu''_x = x''_{\text{ср}} * \lg \mu''_{\text{ллк}} + (1 - x''_{\text{ср}}) * \lg \mu''_{\text{влк}}; \quad (2.26)$$

$$\lg \mu''_x = 0,17 * \lg 0,215 + (1 - 0,17) * \lg 0,513 = -0,36 \text{ Па} * \text{с}$$

$$\mu''_x = 0,437 \text{ Па} * \text{с}$$

де $\mu'_{\text{ллк}}$, $\mu''_{\text{ллк}}$, $\mu'_{\text{влк}}$, $\mu''_{\text{влк}}$ – в'язкості рідких легколеткого і важколеткого компонентів за температур t'_x і t''_x відповідно.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

Теплове навантаження куба-випарника визначаємо за формулою:

$$Q_w = G_V * r_w = G_V * (r_{\text{ЛЛК}} * \bar{x}_w + r_{\text{ВЛК}} * (1 - \bar{x}_w)), \quad (2.27)$$

$$Q_w = 1,514 * (523 * 0,044 + 499 * (1 - 0,044)) = 757,1 \text{ кВт}$$

де $r_w =$, $r_{\text{ЛЛК}} = 523$, $r_{\text{ВЛК}} = 499$ – питома теплота випаровування кубового залишку, легколеткого і важколеткого компонентів відповідно.

Витрату гріючої пари в кубі-випарнику визначаємо за формулою:

$$G_{\text{гп}} = \frac{Q_w}{r_{\text{гп}}} \quad (2.28)$$

$$G_{\text{гп}} = \frac{757,1}{2264} = 0,33 \text{ кг/с}$$

Приймаємо питому теплоту пароутворення $r_{\text{гп}} = 2264$ кДж/кг відповідно до тиску 1 атм і температури 99,1°C.

Теплове навантаження дефлегматора розраховуємо за формулою:

$$Q_d = G_V * r_d = G_V * (r_{\text{ЛЛК}} * \bar{x}_d + r_{\text{ВЛК}} * (1 - \bar{x}_d)), \quad (2.29)$$

$$Q_d = 1,514 * (523 * 0,935 + 499 * (1 - 0,935)) = 789,5 \text{ кВт}$$

де r_d – питома теплота конденсації парів дистилляту.

Припускаючи, що різниця між кінцевою $t_{\text{кв}}$ і початковою $t_{\text{пв}}$ температурами охолоджувальної води в дефлегматорі становить 15–20°C, її витрату визначаємо з рівняння теплового балансу за формулою:

$$G_B = \frac{Q_d}{c_B * (t_{\text{кв}} - t_{\text{пв}})} \quad (2.30)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

де c_6 – питома теплоємність охолоджувальної води.

$$G_B = \frac{789,5}{4,19 * (35 - 15)} = 9,42 \text{ кг/с}$$

Поверхні теплообміну куба-випарника і дефлегматора визначаємо з основного рівняння теплопередачі:

$$F_w = \frac{757100}{700 * 21,1} = 51,26 \frac{\text{м}^2 * \text{К}}{\text{Вт}} \quad F_d = \frac{789500}{500 * 29,9} = 52,8 \frac{\text{м}^2 * \text{К}}{\text{Вт}}$$

де K_w – коефіцієнт теплопередачі в кубі-випарнику, який приймаємо у межах 500–1000 Вт/(м²·К);

Δt_w – різниця між температурою конденсації гріючої водяної пари і температурою кипіння кубового залишку;

K_d – коефіцієнт теплопередачі в дефлегматорі, який приймаємо у межах 300–800 Вт/(м²·К);

Δt_d – середній температурний напір у дефлегматорі.

$$\Delta t_d = \frac{(56 - 15) - (56 - 35)}{\ln \frac{41}{21}} = 29,9$$

2.3 Конструктивні розрахунки

Граничну швидкість пари в тарілчастій колоні рекомендується розраховувати за формулою:

$$w_{гр} = C * \sqrt{\frac{\rho_x - \rho_y}{\rho_y}} \approx C * \sqrt{\frac{\rho_x}{\rho_y}}, \quad (2.31)$$

Відстань між ситчастими тарілками приймаємо 400 мм.

Коефіцієнт $C = 0,06$.

$$w'_{\text{гр}} = 0.06 * \sqrt{\frac{749,12}{1,98}} = 1,17$$

$$w''_{\text{гр}} = 0.06 * \sqrt{\frac{742,79}{1,73}} = 1,24$$

де C – коефіцієнт, який обирають за рисунком залежно від конструкції тарілок, відстані між тарілками H , робочого тиску в колоні, навантаження колони за рідиною.

Робочу швидкість парів у верхній і нижній частинах колони знаходимо за формулою:

$$w' = (0.75 - 0.9) * w_{\text{гр}} \quad (2.32)$$

$$w' = 0,8 * 1,17 = 0,936 \text{ м/с}$$

$$w'' = 0,8 * 1,24 = 0,992 \text{ м/с}$$

де $w_{\text{гр}}$ – швидкість газу, що відповідає точці захлинання.

$$D' = \sqrt{\frac{V_{\text{см}}}{0,785 * w'}} \quad (2.33)$$

$$D' = \sqrt{\frac{0,77}{0,785 * 0,936}} = 1,024 \text{ м}$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

$$D'' = \sqrt{\frac{0,88}{0,785 * 0,992}} = 1,063 \text{ м}$$

Приймаємо найближчий стандартизований діаметр $D = 1000$ мм.

Об'ємна витрата парів дорівнює:

– у верхній частині колони

$$V' = G_V / \rho'_y \quad (2.34)$$

$$V' = \frac{1,514}{1,98} = 0,77 \text{ м}^3/\text{с}$$

– у нижній частині колони

$$V'' = G_V / \rho''_y \quad (2.35)$$

$$V'' = \frac{1,514}{1,73} = 0,88 \text{ м}^3/\text{с}$$

Відповідно до новоприйнятого діаметра D уточнюємо робочу швидкість газу в колоні:

$$w = \frac{V_{\text{см}}}{0,785 * D^2} \quad (2.36)$$

$$w' = \frac{0,77}{0,785 * 1^2} = 0,981 < 1,17 \text{ м/с}$$

$$w'' = \frac{0,88}{0,785 * 1^2} = 1,121 < 1,24 \text{ м/с}$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Для тарілчастої ректифікаційної колони число теоретичних тарілок визначаємо графічним методом за діаграмою $y - x$ (див. рис. 2.2). Для цього будуємо ступінчасту лінію, яка складається з горизонтальних і вертикальних відрізків, між робочими і рівноважною лініями. Число ступенів відповідає числу теоретичних тарілок N_T . Число дійсних тарілок можна визначити за допомогою, так званого, середнього к. к. д. тарілок (к. к. д. колони).

Кількість теоретичних тарілок для верхньої частини колони $N_T' = 6$, а для нижньої частини $N_T'' = 7$.

Значення середнього к. к. д. тарілок, одержані за дослідними даними для промислових ректифікаційних колон порівняно невеликого діаметра:

$$\text{ккд}' = 0,48 \quad \text{ккд}'' = 0,46$$

$$a' = \frac{950}{300} = 3.2$$

$$a'' = \frac{1250}{500} = 2.5$$

$$Nd' = \frac{6}{0.48} = 13 \text{ – кількість тарілок верхньої частини колони}$$

$$Nd'' = \frac{7}{0.46} = 16 \text{ – кількість тарілок нижньої частини колони}$$

$$N = 13 + 16 = 29 \text{ – дійсна кількість тарілок в колоні.}$$

Знайдемо довжину верхньої та нижньої частини колони:

$$H_m = (N_d - 1) * H \quad (2.37)$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

$H'_m = (13 - 1) * 400 = 4800$ мм – довжина верхньої частини колони.

$H''_m = (16 - 1) * 400 = 6000$ мм – довжина нижньої частини колони.

Діаметр патрубк визначаємо за формулою [15]:

$$D = \sqrt{\frac{G}{\rho \cdot 3600 \cdot 0.785 \cdot \omega}}, \quad (2.37)$$

де ω – швидкість пара або рідини, м/с.

Швидкість пари приймається в межах 15–20 м/с, швидкість рідини 0,5–2 м/с.

Діаметри патрубк для входу парів:

$$d_v = \sqrt{\frac{0,847}{0,785 \cdot 1,3509 \cdot 15}} = 0,231 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубк $d_v=250$ мм.

Діаметри патрубк для виходу парів:

$$d'_v = \sqrt{\frac{0,459}{0,785 \cdot 1,3509 \cdot 15}} = 0,17 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубк $d'_v=200$ мм.

Діаметр патрубк для входу флегми:

$$d_R = \sqrt{\frac{1,055}{0,785 \cdot 749,36 \cdot 1,0}} = 0,042 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубк $d_R=50$ мм.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

Діаметр патрубкa для входу вихідної суміші:

$$d_f = \sqrt{\frac{1,333}{0,785 \cdot 750 \cdot 1,0}} = 0,048 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубкa $d_f=50$ мм.

Діаметр патрубкa для виходу кубового залишку:

$$d_w = \sqrt{\frac{0,459 + 0,874}{0,785 \cdot 747,757 \cdot 1,0}} = 0,048 \text{ м}$$

Приймаємо діаметр патрубкa $d_w=50$ мм.

2.4 Гідрaвлічний опір апарaтa

Гідрaвлічний розрахунок проводимо у відповідності до методики [15].

Вибираємо тарілку типу ТС, яка має такі параметри:

- діаметр отворів $d_0 = 4$ мм;
- робоча площа тарілки $F_p = 0,14$ м²;
- площа зливу $F_{зл} = 0,012$ м²;
- периметр зливу $\Pi = 0,48$ м;
- довжина шляху рідини $L_p = 0,37$ м.

Обчислимо гідрaвлічний опір ситчaстої тарілки у верхній і нижній частинах колони:

$$\Delta p_{зaг} = \Delta p_{сух} + \Delta p_{\sigma} + \Delta p_{np}, \text{ Па} \quad (2.38)$$

де $\Delta p_{сух}$ – гідрaвлічний опір сухої тарілки, Па;

Δp_{σ} – опір, зумовлений силами поверхневого натягу, Па;

Δp_{np} – опір парорідинного шару, Па.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{\text{сyx}} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot \omega_{\text{отв}}^2}{2}, \quad (2.39)$$

де ξ – коефіцієнт опору незрошуваних ситчастих тарілок з вільним перетином 7–10 %; $\xi=1,82$ [15];

$\omega_{\text{отв}}$ – швидкість пари в отворах тарілки.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{\text{отв}} = \frac{w}{F}, \quad (2.40)$$

де w – дійсна робоча швидкість парів, м/с;

F – вільний перетин тарілки (сумарна площа отворів).

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot \sigma \cdot}{d_0}; \quad (2.41)$$

де $\sigma = 31,2 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у верхній частині колони;

$\sigma=14,6 \cdot 10^{-3}$ Н/м – поверхневий натяг рідини при середній температурі у нижній частині колони;

$d_0=0,004$ м – діаметр отворів тарілки [15].

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot h_{np} \cdot \rho_{np} \cdot g \cdot k, \text{ Па} \quad (2.42)$$

де h_{np} – висота парорідинного шару, м.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

$$h_{np} = h_n + \Delta h, \text{ м} \quad (2.43)$$

де h_n – висота зливної перегородки, м;

Δh – висота шару над зливною перегородкою, м.

$$\Delta h = \left(\frac{V_p}{1,85 \cdot \Pi \cdot k} \right)^{\frac{2}{3}}, \text{ м} \quad (2.44)$$

де V_p – об'ємна витрата рідини, м³/с;

Π – периметр зливної перегородки, м;

$k = \rho_{np} / \rho_p$ – відношення густини парорідинного шару (піни) до густини рідини, $k \approx 0,5$ [15].

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{G_D \cdot R \cdot M_{cp}}{M_D \cdot \rho_p} \quad (2.45)$$

де R – флегмове число;

M_{cp} – середня мольна маса рідини, кг/кмоль.

Верхня частина колони.

Швидкість пари в отворах тарілки:

$$\omega_{отв} = \frac{0,88}{0,08} = 11 \text{ м/с.}$$

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{сух} = 1,82 \cdot \frac{2,4 \cdot 11^2}{2} = 228 \text{ Па.}$$

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

$$\Delta p_{\sigma} = \frac{4 \cdot 31,2 \cdot 10^{-3}}{0,004} = 31 \text{ Па.}$$

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \frac{0,459 \cdot 2,3 \cdot 70,71}{77,1 \cdot 750} = 0,42 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{0,42 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,48 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,010 \text{ м.}$$

Висота пароріднинного шару:

$$h_{np} = 0,04 + 0,010 = 0,050 \text{ м.}$$

Опір пароріднинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot 0,050 \cdot 750 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 260 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p'_{заг} = 228 + 31 + 260 = 519 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір у верхній частині колони становить:

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$\Delta p' = \Delta p'_{\text{заз}} \cdot N'_{\text{д}}, \quad (2.46)$$

$$\Delta p' = 519 \cdot 12 = 6228 \text{ Па.}$$

Нижня частина колони.

Гідравлічний опір сухої тарілки:

$$\Delta p_{\text{сух}} = 1,82 \cdot \frac{2,05 \cdot 11,75^2}{2} = 258 \text{ Па.}$$

Опір, зумовлений силами поверхневого натягу:

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

Об'ємна витрата рідини:

$$V_p = \left(\frac{G_D \cdot R}{M_D} + \frac{G_F}{M_F} \right) \cdot \frac{M_{cp}}{\rho_p};$$

$$V_p = \left(\frac{0,459 \cdot 2,33}{58} + \frac{1,0}{46} \right) \cdot \frac{62,39}{750} = 1,37 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Висота шару над зливною перегородкою:

$$\Delta h = \left(\frac{1,37 \cdot 10^{-3}}{1,85 \cdot 0,48 \cdot 0,5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,021 \text{ м.}$$

Висота пароріднинного шару:

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		43

$$h_{np} = 0,04 + 0,025 = 0,065 \text{ м.}$$

Опір парорідинного шару на тарілці:

$$\Delta p_{np} = 1,3 \cdot 0,061 \cdot 929 \cdot 9,81 \cdot 0,5 = 361 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір тарілки у верхній частині колони:

$$\Delta p''_{заг} = 258 + 15 + 361 = 634 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір у нижній частині колони становить:

$$\Delta p'' = \Delta p''_{заг} \cdot N''_{\delta}, \quad (2.47)$$

$$\Delta p'' = 634 \cdot 10 = 6340 \text{ Па.}$$

Загальний гідравлічний опір колони:

$$\Delta p = \Delta p' + \Delta p''; \quad (2.48)$$

$$\Delta p = 6228 + 6340 = 12568 \text{ Па.}$$

2.5 Вибір допоміжного обладнання

Розрахунок і підбір насосу для подачі вихідної суміші [16].

Для всмоктуючого і напірного трубопроводів приймаємо однакову швидкість плинину рідини, яка дорівнює $w = 2,2 \text{ м/с}$.

					ХІ.Р.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Діаметр трубопроводу визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot w}}, \quad (2.49)$$

де V – об’ємна витрата суміші, що подається в колону.

$$V = \frac{1,333}{750} = 1,78 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{c};$$

$$d = \sqrt{\frac{1,78 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 2,2}} = 0,032 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартизований діаметр трубопроводу 32 мм.

Визначаємо критерій Рейнольдса для рідини у трубопроводі:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho_p}{\mu}; \quad (2.50)$$

$$Re = \frac{2,2 \cdot 0,032 \cdot 750}{2,65 \cdot 10^{-4}} = 199245,$$

тобто режим турбулентний. Абсолютну шорсткість трубопроводу приймаємо

$$\Delta = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{0,032} = 0,00625;$$

$$\frac{1}{e} = 160; \quad 560 \cdot \frac{1}{e} = 89600; \quad 10 \cdot \frac{1}{e} = 1600;$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

$$\text{Re} > 560 \cdot \frac{1}{e}$$

Для зони, що є автомодельною по відношенню до Re :

$$\lambda = 0,11 \cdot e^{0,25}, \quad (2.51)$$

$$\lambda = 0,11 \cdot 0,00625^{0,25} = 0,03.$$

Визначаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів окремо для всмоктуючої та напірної ліній.

Для всмоктуючої лінії:

- 1) вхід у трубу (приймаємо з гострими краями) $\xi_1 = 0,5$;
- 2) 2 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 2 \cdot 1,1 = 2,2$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2;$$

$$\Sigma \xi = 0,5 + 2,2 = 2,7.$$

Для напірної лінії:

- 1) вентиль прямоточний $\xi_1 = 0,65$;
- 2) 3 коліна з кутом 90° $\xi_2 = 3 \cdot 1,1 = 3,3$;
- 3) 1 кожухотрубний теплообмінник $\xi_3 = 3,05$;
- 4) вихід з труби $\xi_4 = 1$.

$$\Sigma \xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4;$$

$$\Sigma \xi = 0,65 + 3,3 + 3,05 + 1 = 8.$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Втрату напору у всмоктуючій лінії знаходимо за рівнянням:

$$h_{П.ВС.} = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d_E} + \Sigma \xi \right) \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g}, \quad (2.52)$$

де l, d_E – відповідно довжина і еквівалентний діаметр трубопроводу.

$$h_{П.ВС.} = \left(0,03 \cdot \frac{3}{0,032} + 2,7 \right) \cdot \frac{2,2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,36 \text{ м.}$$

Втрата напору в напірній лінії:

$$h_{П.НАП.} = \left(0,03 \cdot \frac{7}{0,032} + 8 \right) \cdot \frac{2,2^2}{2 \cdot 9,81} = 3,59 \text{ м.}$$

Загальні втрати напору:

$$h_{П} = h_{П.ВС.} + h_{П.НАП.}; \quad (2.53)$$

$$h_{П} = 1,36 + 3,59 = 4,95 \text{ м.}$$

Знаходимо напір насосу за рівнянням:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho_p \cdot g} + H_{Г} + h_{П}, \quad (2.54)$$

де $(P_2 - P_1)$ – різниця тисків у апараті та в ємності, із якої подається рідина. У нашому випадку, враховуючи, що тиск у колоні 0,16 МПа, ця різниця дорівнює $0,16 - 0,1 = 0,06$ МПа;

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

H_r – геометрична висота піднімання рідини.

$$H = \frac{0,06 \cdot 10^6}{750 \cdot 9,81} + 4 + 4,95 = 17,1 \text{ м.}$$

Корисну потужність насосу визначаємо за рівнянням:

$$N_{\Pi} = \rho_p \cdot g \cdot V \cdot H, \quad (2.55)$$

$$N_{\Pi} = 750 \cdot 9,81 \cdot 1,78 \cdot 10^{-3} \cdot 17,1 = 224 \text{ Вт.}$$

Потужність, яку повинен розвинути електродвигун насосу на вихідному валу при встановленому режимі роботи:

$$N = \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_n}, \quad (2.56)$$

де $\eta_n, \eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнти корисної дії відповідно насосу і передачі від електродвигуна до насоса. Приймаємо $\eta_n = 0,6$ і $\eta_{\text{пер}} = 1$.

$$N = \frac{224}{1 \cdot 0,6} = 373 \text{ Вт.}$$

За [16] вибираємо відцентровий насос марки X8/30 із наступними параметрами: об'ємна подача насосу 8,64 м³/год.; напір насосу 17,7 м; потужність, яку потребує насос 4 кВт; частота обертів 48,3 об/с.

Розрахунок і вибір ємності для вихідної суміші [13]. Ємність для зберігання вихідної суміші розраховуємо, виходячи з 6–8 годинного резерву

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

робочого часу, а також з урахуванням коефіцієнту заповнення $\psi = 0,8 \dots 0,85$.

Приймаємо $\psi = 0,82$.

Розрахунковий об'єм ємності:

$$V_{EP} = \frac{G \cdot \tau}{\psi \cdot \rho}; \quad (2.57)$$

$$V_{EP} = \frac{4800 \cdot 7}{0,82 \cdot 750} = 54,6 \text{ м}^3.$$

Задамося діаметром ємності $D = 3,6$ м, тоді її висота буде становити:

$$H = \frac{V_{EP}}{0,785 \cdot D^2}; \quad (2.58)$$

$$H = \frac{54,6}{0,785 \cdot 3,6^2} = 5,4 \text{ м}.$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНКИ АПАРАТА НА МІЦНІСТЬ

3.1 Визначення товщини стінки апарата, кришки

Основні розрахункові параметри: робоча температура середовища $t=105^{\circ}\text{C}$; робочу температуру стінки приймаємо на 5°C меншою: $t=100^{\circ}\text{C}$; робочий тиск в апараті $P = 0,16 \text{ МПа}$.

Розрахунковий тиск для апаратів з робочим надлишковим тиском $P > 0,07 \text{ МПа}$ відповідно до рекомендацій наведених у [17] складе:

$$P_p = 1,1 \cdot p = 1,1 \cdot 0,16 = 0,176 \text{ МПа.} \quad (3.1)$$

Пробний при гідравлічному випробуванні тиск згідно [17] складе:

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 P_p [\sigma]_{20} / [\sigma] \\ P_p + 0,3 \end{array} \right\}, \quad (3.2)$$

де $[\sigma]_{20}, [\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу корпусу при розрахунковій температурі і температурі 20°C , згідно [17]:

$$[\sigma]_{20} = 160 \text{ МПа}, [\sigma] = 152 \text{ МПа.}$$

$$P_{np} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,176 \cdot 160 / 152 \\ 0,176 + 0,3 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,28 \\ 0,48 \end{array} \right\} = 0,48 \text{ МПа.}$$

Розрахункове значення для модуля поздовжньої пружності для матеріалу корпусу, згідно [17]:

$$E_{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}, E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Коефіцієнт проточності зварного шва, згідно [17], складе: $\varphi=0,9$.

Товщина стінки циліндричної обичайки, навантаженої внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_k = \frac{P_{np} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P_{np}}, \quad (3.3)$$

$$S_k = \frac{0,48 \cdot 1,0}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,48} = 0,0018 \text{ м.}$$

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_k + C, \quad (3.4)$$

де C – загальне значення прибавки, яка складається зі складових:

$$C = C_1 + C_2 + C_3, \quad (3.5)$$

де C_1 – прибавка на корозію і ерозію, при проникності $\Pi = 0,1$ мм/рік та терміні служби колони $\tau = 15$ років складе

$$C_1 = \Pi \cdot \tau = 0,3 \cdot 15 = 4,5 \text{ мм;}$$

C_2 – прибавка на мінусове значення граничного відхилення по товщині листа, мм;

C_3 – технологічна прибавка, яка враховується в залежності від прийнятої технології виготовлення і не включає в себе округлення розрахункової товщини елемента до номінальної товщини за стандартом, мм.

Прибавки C_2 і C_3 враховуються лише в тому випадку, коли сума їх перевищує 5 % від розрахункової товщини обичайки.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$C = 4,5 + 0 + 0 = 4,5 \text{ мм.}$$

$$S = 0,0018 + 0,0045 = 0,0063 \text{ м.}$$

Приймаємо $S=0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c)}{D+(s-c)}, \quad (3.6)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0,9 \cdot (0,008 - 0,0045)}{1,0 + (0,008 - 0,0045)} = 0,95 \text{ МПа}$$

Умова міцності має вигляд [17]:

$$P < [P]: 0,48 \text{ МПа} < 0,95 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Номінальна товщина стінки днища (кришки), навантажених внутрішнім надлишковим тиском:

$$S_R = \frac{P_p R}{2[\sigma] \cdot \varphi - 0,5 P_p}, \quad (3.7)$$

де R – радіус кривизни в вершині днища; для еліптичних днищ $R = D$.

$$S_R = \frac{0,48 \cdot 1,0}{2 \cdot 152 \cdot 0,9 - 0,5 \cdot 0,48} = 0,0018 \text{ м.}$$

Загальне значення прибавки до товщини стінки днища (кришки) складе:

$$C = 4,5 + 0 + 0 = 4,5 \text{ мм.}$$

$$S = 0,0018 + 0,0045 = 0,0063 \text{ м.}$$

Приймаємо $S=0,008 \text{ м} = 8 \text{ мм}$.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[p] = \frac{2(S-C)\varphi[\sigma]}{D+0,5(S-C)}, \quad (3.8)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot (0,008 - 0,0045) \cdot 0,9 \cdot 152}{1,0 + 0,5 \cdot (0,008 - 0,0045)} = 0,95 \text{ МПа,}$$

що більше пробного, а отже, умова міцності виконується.

3.2 Розрахунок опори апарата

Визначимо навантаження порожнього апарата на опору по формулі:

$$Q_{an} = M_{an} \cdot g; \quad (3.9)$$

де M_{an} – маса порожнього апарата;

$$M_{an} = M_k + M_{дн} + M_{кр} + M_m + M_{фл}, \quad (3.10)$$

де M_k , $M_{дн}$, $M_{кр}$, M_m , $M_{фл}$ – відповідно маси корпусу, днища, кришки, тарілок, фланців і арматури:

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

$$M_{\kappa} = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho, \quad (3.11)$$

де ρ – щільність матеріалу корпусу $\rho=7800$ кг/м³;

$$M_{\kappa} = 15,2 \cdot 3,14 \cdot 1,0 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 2978 \text{ кг}$$

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = F \cdot s \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де F – площа внутрішньої поверхні еліптичного днища (кришки)
 $F=1,16$ м²;

$$M_{\text{дн}} = M_{\text{кр}} = 1,16 \cdot 0,008 \cdot 7800 = 72 \text{ кг.}$$

Маса тарілок:

$$M_m = N \cdot m_m, \quad (3.13)$$

де $m_m = 41,5$ кг – маса однієї тарілки.

$$M_m = 29 \cdot 41,5 = 1204 \text{ кг.}$$

Масу фланців і арматури прийmemo рівною $M_{\text{фл}}=1000$ кг.

Маса порожнього апарата складе:

$$M_{\text{ан}} = 2978 + 2 \cdot 72 + 1204 + 1000 = 5326 \text{ кг;}$$

Навантаження апарату на опору під час гідравлічних випробувань:

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

$$Q_{an}^u = (M_{an} + M_g) \cdot g, \quad (3.14)$$

де M_g – маса залитої в апарат води, кг.

$$M_g = V \cdot \rho_g, \quad (3.15)$$

де V – об'єм апарату, м³.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{3,14 \cdot 1,0^2}{4} \cdot 15,2 = 11,9 \text{ м}^3;$$

$$M_g = 11,9 \cdot 1000 = 11900 \text{ кг};$$

$$Q_{an}^u = (5326 + 11900) \cdot 9,81 = 168987 \text{ Н}.$$

За ОСТ 26-467-78 вибираємо циліндричну опору виконання 1.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

РОЗДІЛ 4 МОНТАЖ ТА РЕМОНТ АПАРАТА

4.1 Монтаж розробленого апарата [18, 19]

Монтаж – це комплекс заходів, коли підбирається та з'єднує в одне ціле різні частини чогось. У нашому випадку таким об'єктом є тарілчаста ректифікаційна колона. При монтажі повністю зібраного апарата спочатку апарат збирається із блоків, а потім приварюється опора. Частини апарата, що стикуються, підтягують один до одного трубоукладачами або тракторами. Для збігу стиків по всьому периметру до кромки однією зі стикуючих частин приварюють вісім і більше напрямних планок, які після прихватки стику короткими звареними швами зрізають газокисневим різанням. Стиковку роблять за заводськими контрольними рисками, нанесеними на корпусах. Відхилення розмірів ділянок, що стикуються, повинні бути в межах допустимих норм: зміщення кромки в кільцевих швах не повинно перевищувати 10 % товщини листа апарата, а у разі двошарової сталі повинно бути не більше товщини шару.

У зварюваних стиках ретельно контролюють зазори, які повинні бути в межах 2–4 мм незалежно від товщини листів обичайок. Кромки зварювальних частин ретельно очищають металевими щітками. Прихватку, як і повне зварювання, виконують електродами, передбаченими проектом. Стики, що виконані з двошарової сталі, прихоплюють на основному шарі. Технологія зварювання (спосіб і режим зварювання, порядок накладення швів і термооброблення) наводиться в проектній документації заводу-виготовлювача.

Ділянка території, де проводиться зварювання, повинна бути захищена від атмосферних опадів та вітру для запобігання забруднення шва. Бажано зварювання виконувати на роликовому стенді, на рамі якого встановлюють один або два зварювальних автомати. Для зварювання внутрішнього шва один

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

автомат розміщують всередині апарату. Після завершення зварювання остаточно перевіряють всі розміри зібраного апарату, які повинні бути в межах допусків. Корпуси відповідальних колонних апаратів повинні відповідати таким вимогам: відхилення довжини не повинно перевищувати 0,3 % від проектного; кривизна циліндра на ділянці 1 м повинна бути не більше 2 мм, а для апаратів вище 10 м – не більше 3 мм.

Тарілка – контактний пристрій в колонній апаратурі, поверхня контакту фаз в яких утворюється в процесі руху взаємодіючих потоків по поверхні тарілки. Спосіб монтажу ректифікаційних тарілок залежить від їх конструкції і технологічного призначення. Їх можна збирати при вертикальному (робочому) і горизонтальному положенні колони. Другий спосіб дозволяє скоротити загальну тривалість монтажних робіт, але пов'язаний із застосуванням пристосувань великої вантажопідйомності для підйому апарата.

При горизонтальному положенні апарата тарілки встановлюють строго вертикально; їх положення перевіряють по схилу, що накладають на декількох точках, і по заздалегідь нанесеним на внутрішніх стінках апарату мітках, для чого апарат доводиться повертати навколо осі на 90°.

Значно легше забезпечити строго горизонтальне положення тарілок в уже установленому, вивіреному і закріпленому на фундаменті корпусі апарата. У цьому випадку достатньої точності добиваються або за допомогою рівня, або заливаючи на поверхню тарілки воду.

Збірку тарілок починають з приварки до внутрішньої стінки корпусу колони опорних (несучих) елементів і нероз'ємних деталей (карманів, зливів, дисків, глухих сегментів). Зварювання проводять у відповідності до технічних умов, і з огляду на те, що при роботі колони важко визначити окремі дефекти зварювання. Після складання всіх елементів кожна тарілка перевіряється на барботаж.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

в колонах є сірчисті з'єднання і продукти їх розкладання, що містяться в нафтах нафтенів кислоти.

Електрохімічної корозії схильні ділянки ректифікаційних колон, на яких можливі освіту гальванічних пар і виникнення корозійного електричного струму. Така корозія, зокрема, спостерігається у верхній частині ректифікаційних колон атмосферних установок для переробки нафти, де разом з парами вуглеводнів інтенсивно конденсуються водяні пари. Вода гідролізує вмісні в сировині і дистиллятах хлориди магнію і кальцію; що виходить в результаті хлористий водень утворює у водному середовищі електроліт – соляну кислоту.

Ерозійний знос корпусів колон є наслідком впливу сильних струменів рідини і парових потоків, що містять абразивні включення. Ділянки корпусів, схильні до ерозії, захищають протекторами та спеціальними пристроями, що зменшують кінетичну енергію струменів рідини і пара (маточники і т. д.).

Знос колонних апаратів небезпечний не тільки через порушення їх міцності; утворилися продукти корозії можуть закупорити або забруднити трубопроводи невеликого перерізу, теплообмінники і конденсатори.

Підготовка колонних апаратів до ремонту. Колонні апарати ремонтують при планово-попереджувальних ремонтах технологічній установці. Порядок підготовки апарату до ремонту і проведення ремонтних робіт залежить від особливостей установці.

У більшості випадків колонні апарати готують до ремонту в такий спосіб. Доводять тиск в колоні до атмосферного, з апарату видаляють робочу середу, після чого його випаровують водяною парою, який витісняє залишилися в колоні пари і газу. Після пропарювання колону промивають водою. У деяких випадках пропарку і промивку чергують кілька разів. Час операцій обмовляється у виробничій інструкції (технологічному регламенті) кожної технологічної установці або технологічного блоку.

Промивання колон водою сприяє також більш швидкому їх охолодженню. Не можна приступати до ремонтних робіт, якщо температура промивної води

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

перевищує 50°C. Пропарену і промиту колону від'єднують від всіх апаратів і комунікують глухими заглушками, що встановлюються у фланцевих з'єднаннях штуцерів. Установку кожної заглушки і подальше її зняття реєструють в спеціальному журналі.

Технологія ремонту. Ремонт апарату починають з його розтину, яке необхідно проводити, суворо дотримуючись таких правил. Спочатку відкривають верхній люк, причому перед цим в апарат протягом деякого часу подають водяну пару, щоб уникнути можливого 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 внаслідок різниці температур відбувається сильна притока повітря в колону, що може привести до утворення вибухонебезпечної суміші.

Після відкривання люків колона деякий час провітрюється в результаті природної конвекції повітря. Доступ людей в колону можливий, якщо концентрація шкідливих речовин не перевищує 10 мг/м³. При роботі всередині колони необхідно ретельно дотримуватися правил техніки безпеки. Робочий повинен надягати запобіжний пояс з мотузкою, кінець якої виводиться назовні і надійно закріплюється; за роботою знаходиться всередині колони робочого постійно спостерігає спеціально виділений для цієї мети робочий. Тривалість безперервної роботи в колоні повинна бути не більше 15 хвилин. Після цього необхідний такий же за тривалістю відпочинок поза колони (зазвичай робочий і спостерігач міняються місцями). При перших же ознаках появи всередині ремонтного апарату вибухонебезпечних, горючих або токсичних рідин, парів і газів всяку роботу слід негайно припинити. Підготовці колони пред'являють особливо високі вимоги в тому випадку, якщо в ній повинні проводитися вогневі (зварювальні) роботи. Ділянка колони, на якому проводиться зварювання, відділяється металевими або просоченими водою дерев'яними настилами, накритими повстиною. Для освітлення всередині колони застосовують лампи напругою не більше 12 В. Переносне освітлення

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

повинно бути вибухобезпечним. Корпус колони, а також її внутрішні пристрої піддають ретельному огляду. При необхідності огляду всієї поверхні корпусу розбирають внутрішні пристрої або їх частину. Наприклад, в ректифікаційних колонах для доступу до тарілок, на рівні яких люки відсутні, розбирають проходи на тарілках, що лежать вище. Виявлення дефектів корпусу, що вимагає високої кваліфікації, включає візуальний огляд для визначення загального стану корпусу і ділянок, що піддаються найбільшому зносу; вимір залишкової товщини корпусу за допомогою ультразвукових дефектоскопів, шляхом мікрометрування і контрольного просвердлювання отворів; перевірку на щільність зварних швів і рознімних з'єднань і т. д.

За характером виявленого дефекту встановлюють зміст і спосіб ремонту корпусу. Нещільні зварні шви вирубують, зачищають і заварюють відповідним електродом. Вельми важливо правильне перекивання нового і старого швів.

Зношені штуцери і люки вирізають і замінюють новими з обов'язковим встановленням зміцнювальних кілець. Бажано, щоб зміцнюють кільця нових штуцерів мали дещо більший діаметр, ніж старі: це дозволяє приварювати їх в новому місці. Ремонту піддають все штуцери, сигнальні отвори на зміцнювальних кільцях яких під час експлуатації були заглушені пробками.

При кожному ремонті вимірюють фактичну товщину стінки корпусу експлуатованого колонного апарату. Найбільш зношені ділянки корпусу колони вирізують, а на їх місце ставлять нову ділянку, заздалегідь звальцьований по радіусу колони. Зварювання виконують встик. Вирізання великих ділянок корпусу може привести до ослаблення перетину і порушення стійкості. Тому до вирізання дефектного ділянки його зміцнюють стійками, які проставляються всередині або зовні (рис. 4.1). Число й перетин стійок і розміри опорних лап розраховують виходячи з умови рівності їх опорів опору вирізаного перетину.

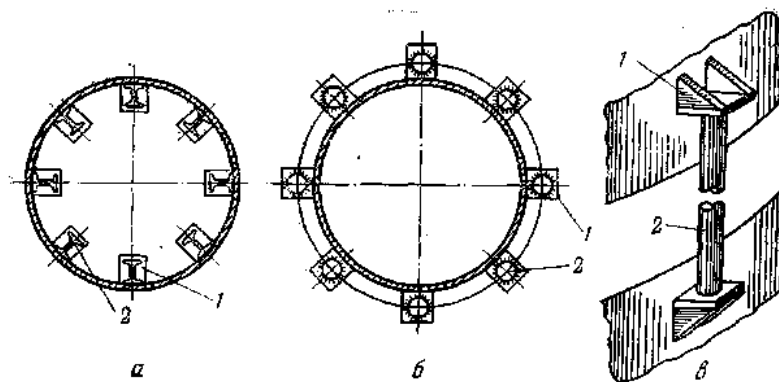


Рисунок 4.1 – Посилення колони в місцях вирізаних поясів:

а – внутрішніми стійками; б – зовнішніми стійками; в – схема кріплення стійки;
1 – лапа; 2 – стійка

Проміжні обичайки легко замінюють наступним чином. Встановлюють підйомні щогли, які утримують верхню неушкоджену частину колони, відокремлюють цю частину від пошкодженої ділянки газорізкою і опускають на землю. Пошкоджену частину колони строполують і за допомогою тих же щогл опускають на землю. Заздалегідь підготовлену нову частину колони піднімають і стикуються з нижньою частиною колони, потім піднімають верхню її частину.

Дуже часто, з огляду на трудомісткість таких заміन ділянок корпусу, признають доцільною повну заміну зношеної колони. Демонтаж зношеної колони виробляють в порядку, зворотному монтажу. Після відповідних перевірок демонтована колона може бути використана для установки монтажних щогл точно так же, як нова колона – для монтажу.

Ремонт внутрішніх пристроїв. При ремонті внутрішні пристрої колон очищають від бруду, коксу та інших відкладень. Тверду і тістоподібну масу вигрібають лопатками або шкребками-чистилками, кокс видаляють за допомогою пневматичних відбійних молотків. Видалення відкладень завжди супроводжується підвищенням концентрації шкідливих газів в колоні; в цей період всередині колони рекомендується працювати в шлангових протигазах.

Ремонт внутрішніх пристроїв пов'язаний із багаторазовим підйомом нових і спуском зношених деталей; такі операції бажано механізувати. До верхньої частини корпусу колони кріплять поворотний або нерухомий кран-укосину (рис. 4.2).

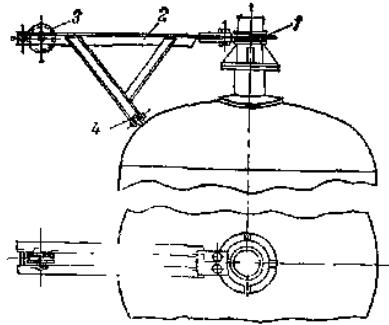


Рисунок 4.2 – Кран-укосина на корпусі апарату:

1 – стійка; 2 – кронштейн; 3 – блок; 4 – ролик

Кран можна прикріпити також до стійок центральних пилонів. Електролебідку з електродвигуном у вибухонебезпечному виконанні або пневмолебідку до крана-укосини встановлюють біля основи колони або на майданчику, яку обслуговує кран-укосина.

Визначення зносу і відбраковування внутрішніх пристроїв виконується згідно із чинними методиками і нормам. Зношені деталі, а іноді й цілі вузли замінюють новими.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Пожежна профілактика під час проектування і будівництва промислових підприємств. Класифікація приміщень за ступенем пожежної небезпеки та вибухопожежонебезпеки.

Пожежі та вибухи на промислових об'єктах становлять велику небезпеку для персоналу цих об'єктів та населення і можуть завдати величезних матеріальних збитків. Питання забезпечення пожежної безпеки виробничих та споруд мають велике значення та регламентуються спеціальними державними рішеннями та постановами. Пожежна безпека може бути забезпечена заходами пожежної профілактики та активного пожежного захисту [20].

Поняття пожежної профілактики включає комплекс заходів, вкладених у попередження виникнення пожежі та створення умов запобігання шкоди від них. Під **активним пожежним захистом** розуміються заходи, що забезпечують успішну боротьбу із пожежами або вибухонебезпечною ситуацією [20].

При пожежі на промислових підприємствах створюється складна обстановка для пожежогасіння, тому потрібна розробка комплексу заходів та протипожежного захисту. Цей комплекс включає заходи профілактичного характеру та влаштування систем пожежогасіння. Пожежна профілактика є складовою частиною технологічних процесів виробництва, містобудування, планування та забудови населених пунктів. Її заходи враховуються при проектуванні, будівництві, реконструкції, експлуатації об'єктів, будівель, споруд, транспортних засобів та у побуті. Організацією пожежної профілактики займаються органи Державного пожежного нагляду [20].

Пожежна профілактика досягається [20]:

- розробкою, використанням пожежних правил на об'єктах і контролю над їх дотриманням;

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

- веденням конструювання та проектування створюваних об'єктів із урахуванням їхньої пожежної безпеки;
- удосконаленням та утриманням у готовності протипожежних засобів;
- регулярним проведенням пожежно-технічних обстежень об'єктів, житлових та громадських будівель;
- пропагування пожежно-технічних знань серед населення.

Заходи щодо пожежної профілактики поділяються на **організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні.**

Організаційні заходи передбачають [21]:

- правильну експлуатацію обладнання та транспорту;
- правильне утримання будівель, споруд та території;
- протипожежний інструктаж робітників та службовців об'єкта;
- організацію добровільних пожежних формувань, пожежно-технічних комісій;
- видання наказів із питань посилення пожежних формувань тощо.

До технічних заходів відносяться [21]:

- дотримання протипожежних правил та норм при проектуванні будівель, влаштуванні електропроводів та обладнання, опалення, вентиляції, освітлення;
- правильне розміщення устаткування.

Заходи режимного характеру – це заборона куріння у невстановлених місцях виробництва зварювальних та інших вогневих робіт у пожежонебезпечних приміщеннях [21].

Експлуатаційними заходами є своєчасні профілактичні огляди, ремонти та випробування технологічного обладнання [21].

Пожежна профілактика на промислових об'єктах організується на основі загальних вимог до всіх об'єктів, а також відповідно до категорії пожежної небезпеки технологічних процесів на кожному із них.

Підвищити вогнестійкість будівель і споруд можна облицюванням або оштукатурюванням металевих конструкцій, захистом дерев'яних конструкцій оштукатурюванням (вапняно-цементне, азбоцементне, гіпсове покриття або просочування їх антипіренами (фосфорно-кислий амоній, сірчано-кислий) [20].

Влаштування протипожежних розривів між будинками. Величини протипожежних розривів між основними та допоміжними будинками визначають з урахуванням їхньої вогнестійкості вони можуть перебувати в межах від 9 до 18 метрів [20].

Зонування території. Цей захід полягає у групуванні при генеральному плануванні підприємств в окремі комплекси об'єктів, споріднених за функціональним призначенням та ознакою пожежної небезпеки [20].

Влаштування внутрішньозаводських доріг, які повинні забезпечувати безперешкодний зручний проїзд пожежних автомобілів до будь-якої будівлі об'єкта; вибір місць розташування пожежних депо. Одна зі сторін підприємства повинна примикати до дороги загального користування.

Влаштування внутрішнього протипожежного водопроводу та установок пожежогасіння, пожежної сигналізації [20]:

- заміна займистих перекриттів на вогнетривкі;
- встановлення електрообладнання в пиловологонепроникному виконанні;
- систематизація зберігання горючих матеріалів, створення буферних складів, що унеможливають накопичення горючих матеріалів на робочих місцях;
- відділення особливо небезпечних технологічних ділянок виробництва протипожежними перешкодами (протипожежні стіни, перекриття, люки, двері, ворота, тамбур-шлюзи та вікна).

Протипожежні стіни виконуються з вогнетривких матеріалів і повинні мати межу вогнестійкості не менше 2,5 год. і спиратися на фундаменти. Протипожежні двері, вікна та ворота у протипожежних стінах повинні мати межу вогнестійкості не менше 1 години, а протипожежні перекриття – не менше 1 години. Перекриття не повинні мати отвори, через які можуть проникати в приміщення продукти горіння при пожежі [21].

Також у чистоті та справності підтримуються шляхи евакуації людей під час пожежі. При виникненні пожежі люди повинні залишити будівлю в мінімальний час, що визначається найкоротшою відстанню від їхнього місцезнаходження в будівлі до зовнішнього виходу. Число евакуаційних виходів із будівель, приміщень та кожного поверху будівлі визначається розрахунком, але має становити не менше двох. Виходи повинні бути розосереджені [20].

Приміщення виробничого та складського призначення незалежно від їх функціонального призначення за пожежною та вибухопожежною небезпекою поділяються на наступні категорії [22]:

1. Підвищена вибухопожежобезпечність (А). Характеризуються присутністю в них горючих газів, легкозаймистих рідин з температурою спалаху не більше 28°C у такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, та деякими іншими показниками.

2. Вибухопожежобезпечність (Б). Характеризуються присутністю в них горючих пилів або волокон, легкозаймистих рідин з температурою спалаху понад 28°C та деякими іншими показниками.

3. Пожежна небезпека (В1 – В4). Характеризуються присутністю в них горючих та важкогорючих рідин, твердих горючих та важкогорючих речовин та матеріалів (у тому числі пилів та волокон) та деякими іншими показниками.

4. Помірна пожежна небезпека (Г). Характеризуються присутністю в них негорючих речовин та матеріалів у гарячому, розпеченому чи розплавленому стані.

5. Знижена пожежна небезпека (Д). Характеризуються присутністю в них негорючих речовин та матеріалів у холодному стані.

Методи визначення категорій приміщень А і Б, віднесення приміщень до категорій В1, В2, В3 або В4 встановлені Зведенням правил «Визначення категорій приміщень, будівель та зовнішніх установок із вибухопожежної та пожежної небезпеки» (СП 12.13130.2009) [22].

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – Москва : Химия, 1973. – 752 с.
2. Домашнев А. Д. Конструирование и расчет химических аппаратов : учеб. для студ. высших учеб. заведений. – Москва : МАШГИЗ, 1987. – 624 с.
3. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра / укладачі: Р. О. Острога, М. С. Скиданенко, Я. Е. Михайловський, А. В. Іванія. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 32 с.
4. Матеріал з Вікіпедії. Ацетон [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%86%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%BD>
5. Березов Т. Т. Биологическая химия : Учебник / Т. Т. Березов, Б. Ф. Коровкин. – Москва : Медицина, 1990. – 528 с.
6. Матеріал з Вікіпедії. Етанол [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%BB>
7. Gardaud M. Encyclopedia of Astrobiology / M. Gardaud, editor. – Springer, 2011. – 505 p. – ISBN 978-3-642-11271-3. – DOI: 10.1007/978-3-642-11274-4.
8. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии / И.Л. Иоффе. – Ленинград : Химия, 1991. – 352 с.
9. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтяной технологии / А. Н. Плановский, П. И. Николаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1972. – 494 с.
10. Лазинский А. А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А. А. Лазинский, А. Р. Толчинский. – Ленинград : Машиностроение, 1970. – 752 с.

										XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							68

11. Лазинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов : Справочник / А. А. Лазинский. – Ленинград : Машиностроение, 1981. – 382 с.

12. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин [и др.]. – Под общ. ред. Сорокина В. Г. – Москва : Машиностроение, 1989. – 640 с.

13. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : Учебное пособие для вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – 10-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Химия, 1987. – 576 с.

14. Врагов А. П. Матеріали до розрахунків процесів та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навчальний посібник / А. П. Врагов, Я. Е. Михайловський, С. І. Якушко. – За ред. А. П. Врагова. – Суми : Вид-во СумДУ, 2008. – 170 с.

15. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи / Под общ. ред. В. Н. Соколова. – Ленинград : Машиностроение, 1982. – 384 с.

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

17. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи : Учеб. пособие для студентов вузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко [и др.]. – Под общ. ред. Михалева М. Ф. – Ленинград : Машиностроение, 1984. – 301 с.

18. Фарамазов С. А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов / С. А. Фарамазов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Химия, 1980. – 312 с.

19. Ермаков В.И. Ремонт и монтаж химического оборудования / В.И. Ермаков, В.С. Шейн. – Ленинград : Химия, 1981. – 368 с.

					XI.P.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

20. Пожежна профілактика при проектуванні та будівництві промислових підприємств [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/9122947/page:5/>

21. Пожежна профілактика при проектуванні та будівництві промислових підприємств. Вогнестійкість будівельних конструкцій [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://studfile.net/preview/4520361/page:8/>

22. Охрана труда в машиностроении : Учебн. для машиностр. вузов / Под ред. Юдина Е. Я., Белова С. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1983. – 432 с.

					<i>XI.P.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		70