

## ВСТУП

Ректифікація відома з початку XIX століття як один з найважливіших технологічних процесів головним чином спиртової та нафтової промисловості. В даний час ректифікацію все ширше застосовують в самих різних областях хімічної технології, де виділення компонентів у чистому вигляді має дуже важливе значення (у виробництвах органічного синтезу ізотопів, полімерів, напівпровідників і різних інших речовин високої чистоти).

Масообмінна апаратура призначена для здійснення численних масообмінних процесів, основними з яких є ректифікація, абсорбція і екстракція. З усіх процесів ректифікації, що застосовуються в хімічній технології, більше 80% доводиться на хімічну та нафтопереробну промисловість. Від ефективності роботи колон ректифікації і абсорбції багато в чому залежать якість продукції, що виробляється, і техніко-економічні показники експлуатації установок і виробництва в цілому. Колони ректифікації і абсорбції - це великогабаритні вертикальні циліндричні апарати діаметром до 4 м і більше при висоті до 40-70 м і більше.

Зростаючі вимоги до надійності і ефективності роботи масообмінних апаратів, до зниження їх металоємності і габаритів примушують постійно удосконалювати конструкції контактних пристроїв. Призначення контактного пристрою - це організація безпосереднього контакту фаз, що масообмінюються, пара-рідина при ректифікації, газ-рідина при абсорбції і рідина-рідина при екстракції.

Для отримання продуктів із заданою концентрацією компонентів і високими виходами також використовують процес ректифікації, який широко застосовується в нафтогазопереробці, хімічній, нафтохімічній, кисневій, харчовій і інших галузях промисловості.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Перегонка рідини

Види ректифікації:

Одним з найбільш поширених методів розподілу рідких однорідних сумішей, що складаються з двох або більшого числа компонентів, являється перегонка (дистиляція і ректифікація). У широкому сенсі перегонка є процесом, що включає частковий випар суміші, що розділяється, і наступну конденсацію пари, що утворюється, здійснюваним одноразово або багаторазово. В результаті конденсації виходить рідина, склад якої відрізняється від складу початкової суміші.

Ректифікація є процесом багатократного часткового випару рідини і конденсації пари. Процес здійснюється шляхом контакту потоків пари і рідини, що мають різну температуру, і проводяться зазвичай в колонних апаратах. При кожному контакті з рідини випаровується переважно низькокиплячий компонент (НКК), яким збагачується пара, а з пари конденсується переважно висококиплячий компонент (ВКК), що переходить в рідину. Такий двосторонній обмін компонентами, повторюваний багаторазово, дозволяє отримати, кінець кінцем, пару, що є майже чистий НКК. Ця пара після конденсації в окремому апараті дає дистилят (ректифікат) і флегму - рідину, що повертається для зрошування колони і взаємодії з парою, що піднімається. Пару отримують шляхом часткового випару знизу колони залишку, що являється майже чистим ВКК.

Процеси ректифікації здійснюються в апаратах, технологічна схема яких залежить від призначення апарату і тиску в ньому, а конструкція - від способу організації контакту фаз.

При ступінчастому здійсненні процесу ректифікації в колонних апаратах контакт пари і рідини може відбуватися в протитоку (на тарілках провального

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

типу), в перехресному струмі (на ковпачкових тарілках), в прямоку (струминні тарілки).

Якщо процес ректифікації здійснюється безперервно в усьому об'ємі колонного апарату, то контакт пари і рідини при русі обох фаз може відбуватися тільки в протитоку. Сучасні ректифікаційні апарати можна класифікувати залежно від технологічного призначення, тиску і внутрішнього устрою, що забезпечує контакт між парою і рідиною.

Процес ректифікації може протікати під тиском, а також при атмосферному тиску і під вакуумом. Під вакуумом ректифікацію проводять, коли розділенню підлягають висококиплячі рідкі суміші. Ректифікація під тиском застосовується для розділення сумішей, що знаходяться в газоподібному стані при нижчому тиску. Ступінь розділення суміші рідин на компоненти, і чистота отримуваних дистилляту і кубового залишку залежать від того, наскільки розвинена поверхня фазового контакту, а отже, від кількості зрошуючої рідини (флегми) і конструкції контактих пристроїв колони.

## 1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини

Основною задачею апаратів, що використовуються для проведення процесів ректифікації є забезпечення інтенсивної взаємодії фаз і можливо більшої поверхні їх контакту.

Вибір конструкції колон ректифікації залежить від технологічних схем, напряму відносного руху газу і рідини і способу утворення поверхні контакту фаз. Взаємодія газу (пари) і рідини на кожному ступені може відбуватися в протитоку, прямоку або в перехресному струмі фаз.

До сучасних установок ректифікації пред'являються наступні вимоги: висока розділова і продуктивна здатність, достатня надійність і гнучкість в роботі, низькі експлуатаційні витрати, невелика вага і простота конструкції.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## Конструкції ректифікаційних колон

В ректифікаційних установках використовують головним чином апарати двох типів: колони із ступінчастим контактом фаз (тарільчасті) і безперервним контактом (плівкові і насадкові).

Тарільчасті ковпачкові колони найчастіше застосовують в ректифікаційних установках.

В тарільчастих ректифікаційних колонах використовуються ковпачкові, ситчасті, решітчасті, клапанні, лускові, пластинчасті, S-подібні тарілки та ін.

В колоні з ковпачковими тарілками пара (газ) проходить знизу через парові патрубки і виходить через прорізи ковпачків в рідину, барботуючи через неї. При цьому на тарілці конденсується пара і одночасно випаровується рідина.

Наявність перехресного струму між рідиною і газом (парою) - відмітна особливість тарільчастих ковпачкових колон. Необхідний рівень рідини на тарілках забезпечується зливними перегородками. Рідина рухається уздовж тарілки від патрубка, що живить, до зливної перегородки і пронизується газом, що рухається з нижньої тарілки на вищерозміщену. В якості зливної перегородки в колонах використовують зливні трубки або спеціальні поріжки, висота виступу яких над тарілкою визначає висоту рівня рідини на ній.

Ситчасті тарілки застосовують головним чином при ректифікації спирту і рідкого повітря. Допустимі навантаження по рідині і парі для них відносно невеликі, і регулювання режиму їх роботи складне. Рідина і пара проходять поперемінно через кожний отвір залежно від співвідношення їх натисків. Тарілки мають малий опір, високий к. к. д., працюють при значних навантаженнях і відрізняються простотою конструкції. Маса - і теплообмін між парою і рідиною в основному походять на деякій відстані від дна тарілки в шарі піни і бризок. Тиск і швидкість пари, що проходить через отвори полотна тарілки, мають бути достатні для подолання тиску шару рідини на тарілці і створення опору її набряканню через отвори. Ситчасті тарілки необхідно встановлювати строго горизонтально для забезпечення проходження пари через

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

усі отвори тарілки, а також щоб уникнути стікання рідини через них. Зазвичай діаметр отворів ситчастої тарілки приймають в межах 0,8-8,0 мм.

Клапанні тарілки займають середнє положення між ковпачковими і ситчастими. Клапанні тарілки показали високу ефективність при значних інтервалах навантажень завдяки можливості саморегулювання. Залежно від навантаження клапан переміщується вертикально, змінюючи площу живого перерізу для проходу пари, причому максимальний переріз визначається висотою пристрою, що обмежує підйом. Площа живого перерізу отворів для пари складає 10-15% площі перерізу колони. Швидкість пари досягає 1,2 м/с. Клапани виготовляють у вигляді пластин круглого або прямокутного перерізу з верхнім або нижнім обмежувачем підйому. Тарілки, зібрані з S -подібних елементів, забезпечують рух пари і рідини в одному напрямку, сприяючи вирівнюванню концентрації рідини на тарілці. Площа живого перерізу тарілки складає 12-20% від площі перерізу колони. Коробчатий поперечний переріз елемента створює значну жорсткість, що дозволяє встановлювати його на опорне кільце без проміжних опор в колонах діаметром до 4,5 м

Каскадні тарілки Вентури збирають з окремих листів, вигнутих так, щоб напрямок потоку пари був горизонтальним. Канали для проходу пари мають профіль перерізу труби Вентури, що сприяє максимальному використанню енергії пари і зниженню гідравлічного опору. Потоки пари і рідини спрямовані в один бік, що забезпечує хороше перемішування і контакт фаз. В порівнянні з ковпачковими тарілками швидкість пари може бути збільшена більш ніж удвічі. Конструкція гнучка, не допускає провалу рідини і зниження за рахунок цього ефективності. Невелика утримуюча здатність (30-40% в порівнянні з ковпачковою тарілкою) є цінною якістю при переробці чутливих до нагріву рідин. Відстань між тарілками вибирається в межах 450-900 мм. Каскадні тарілки успішно застосовуються в установках, де необхідно забезпечити високі швидкості пари і рідини.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Решітчасті тарілки виготовляють з штампованих листів з прямокутними прорізами або набираються із смуг. Необхідність опорної конструкції визначається товщиною металу і діаметром колони. Відстань між тарілками зазвичай 300-450 мм. Решітчасті тарілки мають кращу працездатність в порівнянні з ковпачковими тарілками при максимальних навантаженнях.

Хвилясті тарілки виготовляються штампуванням з перфорованих листів товщиною 2,5-3 мм у вигляді синусоїдальних хвиль. Жорсткість конструкції дозволяє використовувати тонкий метал. Напрямок хвиль на сусідніх тарілках перпендикулярний. Глибина хвиль вибирається залежно від рідини, що перегоняється. За рахунок великої турбулізації рідини ефективність хвилястої тарілки вища. А небезпека засмічення менша, ніж для плоскої тарілки. Розміри хвиль збільшуються із збільшенням розрахункового навантаження по рідині. Відношення висоти хвилі до її довжини вибирається в межах від 0,2-0,4. Тарілки в колоні розташовуються на відстані 400-600 мм одна від одної.

Колони з насипною насадкою. Колони з насипною насадкою відрізняються найбільшою простотою пристрою. Колона є циліндричним вертикальним апаратом з опорними решітками, на які засипають насадку безладно, навалом. В якості насадки найширше використовують керамічні або металеві кільця, сідла, сітки і т. д.

У колонах з насипною насадкою при малих швидкостях потоків контакт між фазами здійснюється на змоченій поверхні насадки, при великих швидкостях - у вільному об'ємі насадки за рахунок диспергування середовищ. Практика показала, що колони з насипною насадкою працюють найефективніше в умовах режиму "підвисання", близького до "захлинання", т. є. такого режиму, при якому маса затриманої на насадці рідини стає рівній силі тертя газового потоку з рідиною. При цьому зрошуюча рідина затримується у вільному об'ємі, колони в максимальній кількості, утворюючи в проходах насадки газорідинну суміш - щільну піну. Такий режим відрізняється тим, що невелике збільшення

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

швидкості газу (парі) приводити до "захлинання" колони внаслідок переваги сил тертя над силами тяжіння.

Роторні і відцентрові колони. Роторні колони ректифікації є апаратами, в яких розподіл між собою реагуючих потоків пари і рідини з утворенням міжфазового контакту здійснюється при дії на ці потоки пристрою (ротора), що обертається. За способом створення поверхні міжфазового контакту роторні колони розділяються на дві групи: роторні розпилюючого типу і плівкового.

У роторних колонах розпилюючого типу ротор, що обертається, розподіляє в об'ємі колони або її окремого ступеня рідину у вигляді струменів і крапель, що викликає утворення розвиненої поверхні міжфазового контакту. Під дією обертального руху підвищується турбулізація парової фази, що інтенсифікує процес масообміну.

У плівкових роторних колонах рідка фаза за допомогою ротора розподіляється по твердій поверхні, утворюючи плівку. Ротор служить не лише для розподілу рідкої фази, але і для активної турбулізації парової фази. У деяких конструкціях плівкових роторних колон турбулізуюча дія ротора передається також і на рідку фазу. Для колон обох типів характерні низькі гидравлічні опори і високі коефіцієнти масовіддачі.

До недоліків роторних колон можна віднести обмеженість їх висоти і діаметру (із-за складності виготовлення і вимог, що пред'являються до міцності і жорсткості ротора), а також високі експлуатаційні витрати на привід ротора.

Плівкові колони. Плівкові колони виконують у вигляді окремих труб або системи труб за типом кожухотрубчастого теплообмінника. Нині ці апарати застосовуються для ректифікації під вакуумом сумішей, що мають малу термічну стійкість (наприклад, різні мономері і полімери, а також інші продукти органічного синтезу). По конструкції плівкові колони аналогічні перегінним апаратам.

Ректифікаційні колони працюють зазвичай при атмосферному або невеликому надлишковому тиску. Обмежене застосування знаходять вакуумні

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

колони і колони, що працюють при підвищеному тиску. Ректифікацію під вакуумом застосовують у тому випадку, коли хочуть понизити температуру в колоні, що буває необхідно при розподілі компонентів з високою температурою кипіння або речовин, нестійких при високій температурі. Ректифікацію під підвищеним тиском використовують для розподілу зріджених газів і легколетучих рідин.

### 1.3 Конструкції теплообмінного обладнання

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати класифікуються за конструкцією: апарати з нерухомими трубними решітками (тип Н), температурним компенсатором на кожусі (тип К), з розширником на кожусі (з нерухомими трубними решітками і температурним компенсатором на кожусі), з плаваючою головкою (тип П), U-подібними трубами (тип У) та для підвищених тисків і температур (тип ПК);

Теплообмінні апарати класифікуються за призначенням – теплообмінники (Т), холодильники (Х), конденсатори (К) та випарники (И);

Конструктивно теплообмінники розділяються на одноходові, в яких теплоносій проходить паралельно по усіх трубах пучка; багатоходові, в яких пучок труб розділений на декілька секцій (ходів), а теплоносій проходить послідовно через усі ходи; теплообмінники з U-подібними трубами, з подвійними трубами і перехресним струмом теплоносія.

Теплообмінники кожухотрубні жорсткого типу (типу ТН і ТК) виготовляють з поверхнею теплообміну (зовнішньою поверхнею усіх труб пучка) від 1 до 2000 м<sup>2</sup>, тиском 0,6; 1,0; 1,6; 2,5 МПа і застосовуються при порівняно малій різниці температур теплообмінюючихся середовищ (не більше 50°C). При вищій різниці температур напруження, що виникає в корпусі і трубках, може порушити щільність з'єднання в місцях розвальцьовування труб, і теплоносій з міжтрубного простору проникатиме в трубний пучок (чи навпаки).

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		



Одним із способів компенсації температурного напруження є установка лінзового компенсатора на корпусі.

Лінза компенсатора зварюється з двох торових напівлінз, виготовлених штампуванням. Зовнішній діаметр лінзи звичайний більше зовнішнього діаметру корпусу на 250 мм. Лінзи можна зварювати в групи по 2 - 6 лінз підряд. Одна лінза допускає розтягування або стискування до 8 мм.

Теплообмінники з лінзовим компенсатором типу ТК застосовуються при тисках не вище 1,6 МПа. При вищому тиску доводиться застосовувати лінзу з більшою товщиною стінки, що у свою чергу збільшує її жорсткість і різко знижує компенсуючу здатність.

Теплообмінники жорсткого типу порівняно з іншими конструкціями простіше, легше у виготовленні і дешевше.

Основний їх недолік - неможливість механічного чищення зовнішньої поверхні трубок, тому їх застосовують в тих випадках, коли в міжтрубний простір вводиться теплоносій, що не дає відкладень на стінках, не викликає корозії.

Теплообмінники кожухотрубчасті з плаваючою голівкою (типу ТП) застосовуються для нагріву або охолодження найчастіше рідких середовищ. Плаваюча голівка внаслідок незалежного кріплення її в корпусі має можливість переміщатися в осьовому напрямку, не передаючи тим самим на корпус напруження, що виникає в трубному пучку.

Кількість ходів по трубках при діаметрі корпусу менше 500 мм дорівнює двом, більше 500 мм - чотирьом або більше.

Теплообмінники з плаваючою голівкою (типу ТП), випускаються на тиск 1,6; 2,5; 4 і 6,4 МПа і діаметром корпусу від 300 до 1400мм. Поверхня теплообміну у них коливається від 12,5 до 1250 м<sup>2</sup>. Довжина труб - 3; 6 і 9 м.

Перевага теплообмінників з плаваючою голівкою полягає в можливості легкої заміни пучка або витягуння його з корпусу з метою чищення, ремонту або установки додаткових перегородок.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Недоліками вважаються складність конструкції (недоступність рухливої голівки), трудність контролю під час експлуатації, значніша вага і вартість одиниці поверхні нагріву порівняно з теплообмінниками жорсткої конструкції.

Теплообмінники U - подібними трубками (типу ТУ) застосовують тільки тоді, коли теплоносій не викликає забруднення трубок, чищення яких механічними засобами ускладнене.

Застосування U - подібних трубок дозволяє при тих же габаритах значно збільшити поверхню теплообміну завдяки збільшенню поверхні гнутих ділянок пучка і зменшенню проміжків між корпусом і трубним пучком. Конструкція теплообмінника відрізняється простотою, легкістю виготовлення і ремонту порівняно з теплообмінниками з плаваючою голівкою і має таку ж свободу переміщення трубного пучка в осьовому напрямку.

Теплообмінник типу "труба в трубі" складається з двох труб різного діаметру, вставлених одна в іншу. Одне з середовищ тече по внутрішній трубі, а інше - по кільцевому простору між трубами. Протиток і високі швидкості турбулентного потоку зменшують можливість відкладень на стінках труб. Для інтенсифікації процесу конвективного теплообміну в теплообмінниках новітніх конструкцій використовують обребрені труби.

До недоліків теплообмінників типу "труба в трубі" відносять: громіздкість конструкції і велика витрата металу на  $1 \text{ м}^2$  поверхні теплообміну в порівнянні з іншими видами теплообмінників. Їх випускають на тиск до 2,5 МПа і температуру до  $500^\circ\text{C}$ .

Спіральні теплообмінники складаються з двох спіралей, що входять одна в іншу і утворюють таким чином два канали чотирикутного перерізу. Обидва канали починаються в центрі і закінчуються на периферії. У центрі канали розділені перегородкою. Бічні стінки каналів утворюють торцеві кришки, скріплені болтами із зовнішнім витком спіралі через фланець. Рідини, між якими відбувається теплообмін, поступають в канали протитоком один одному окремо. Спіральні теплообмінники розраховані на робочий тиск до 0,6 МПа, вони дуже

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

ефективні і компактні, але складні у виготовленні і мало пристосовані для чищення.

Підігрівачі з паровим простором застосовують як випарники, наприклад кубового залишку ректифікаційної колони або нагрівачів рідких нафтопродуктів. Підігрівачі складаються з циліндричного корпусу, в днище якого вмонтовано один або два трубні пучки. Теплоносій, зазвичай пара, подається в трубний пучок, а продукт, що нагрівається, в нижню частину апарату. При підігріванні випаровуються легкі продукти, а важкий залишок безперервно виводиться з підігрівача.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## 2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І ДЕФЛЕГМАТОРА

### 2.1 Технологічна схема

Початкова суміш з ємкості Є1 відцентровим насосом Н2 подається в підігрівач П, в якому вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш поступає в ректифікаційну колону КР на розподільну тарілку. Ректифікаційна колону складається з двох секцій - зміцнюючою і вичерпною. Початкова суміш (зазвичай при температурі кипіння) подається в колону КР, де змішується з витягнутою рідиною і стікає по контактних пристроях (тарілках) вичерпної секції протитечією до потоку парі, що піднімається, який утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику К.

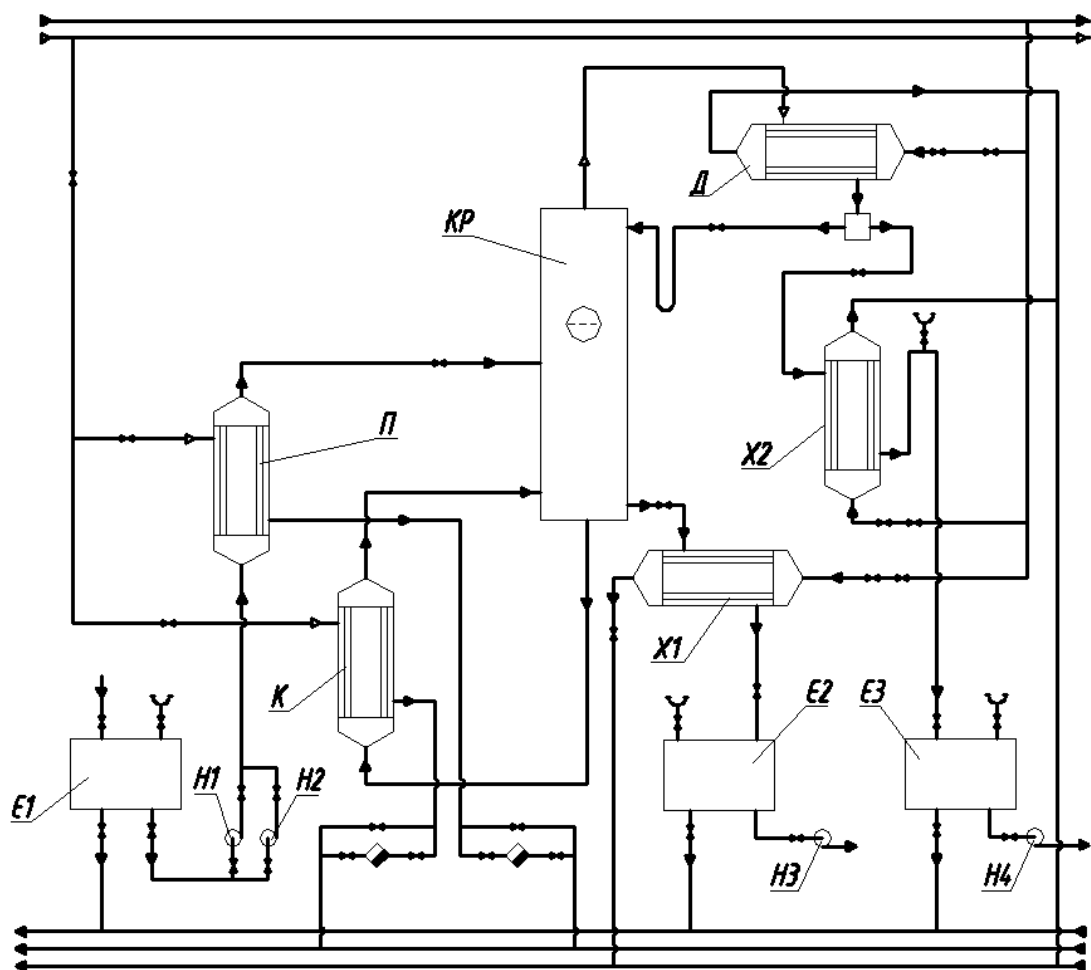


Рисунок 2.1 - Схема безперервно діючої ректифікаційної установки

Досягнувши низу колони, рідинний потік, збагачений важколетучими компонентами, подається в куб колони. Тут рідина частково випаровується в результаті нагріву відповідним теплоносієм, і пара знову поступає у вичерпну секцію. Пара, що виходить з цієї секції, поступає в зміцнюючу секцію. Пройшовши її, збагачена легколетучими компонентами пара поступає в дефлегматор Д, де конденсується відповідним холодоагентом.

Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді дистилляту, який охолоджується в холодильнику Х2 і направляється в ємність Є3.

З кубової частини колони безперервно виводиться рідина, яка ділиться на 2 потоки: дистиллят і флегму. Дистиллят є продуктовим потоком, а флегма поступає на зрошення зміцнюючої секції. Кубова рідина охолоджується в холодильнику Х1 і прямує в ємність Є2. Частина рідини виводиться з куба колони у вигляді кубового залишку.

## 2.2 Опис конструкції колони з ситчастими тарілками

В ректифікаційних установках використовують колони двох типів: ректифікаційні колони насадкові і тарільчасті.

На рисунку 2.2 показана ректифікаційна колона з ситчастими тарілками суцільнозварна циліндрична з еліптичними днищами 2, корпусом 1, встановленим на циліндричній опорі 4. Колона обладнана люками 5 діаметром 500 мм (ОСТ 26-2002-83), через які відбувається збирання і розбирання ситчастих тарілок, а також огляд внутрішньої поверхні апарату, його чищення і ремонт. Люки оснащені підйимально-поворотними пристроями 6. Апарат обладнаний технологічними штуцерами, призначеними для входу і виходу робочого середовища і штуцерами для приєднання контрольно– вимірювальних пристроїв. Також на колонному апараті розташовані цапфи для стропування 7, пристрої для вивіряння 8.

Всередині колони розташовано 27 ситчастих тарілок 3.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

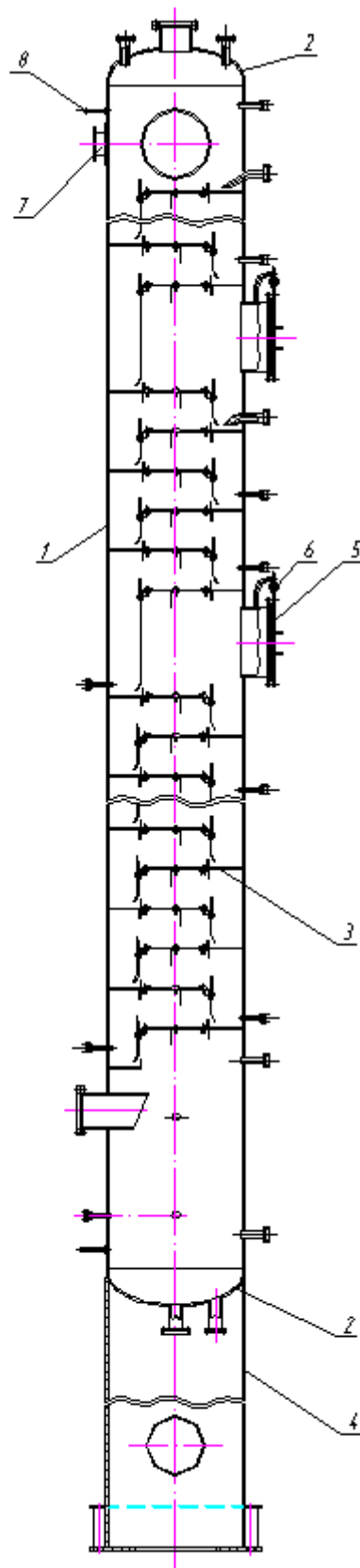


Рисунок 2.2 - Суцільнозварний колонний апарат з ситчастими тарілками

У ситчастих тарілках пара проходить через розташовані на ній отвори і барботує шар рідини, що знаходиться на тарілці. Рідина на тарілці

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		17

підтримується тиском пари, що піднімається. Висота шару рідини на тарілці визначається розташуванням верхніх кінців перелних труб. Тарілки з переливами працюють таким чином. Рідина, що поступає на тарілку через пристрій переливання з вищерозміщеної тарілки, рівномірно розподіляється по усій площині основи тарілки, перетікає до переливної перегородки і далі в переливний пристрій.

На ситчастих тарілках газу проходять через отвори, барботують через рідину і створюють рівномірний вспінений шар.

Надлишок рідини по переливних перегородках спускається на тарілку, що пролягає нижче.

Ситчасті тарілки застосовуються як для чистих рідин, так і для рідин, що містять зважені тверді частки. Для перших отвори мають діаметр 2-3 мм, для других - 7-8 мм.

Істотний недолік ситчастих тарілок в тому, що рідина на них утримується тільки за рахунок тиску пари. Тому при падінні тиску в колоні рідина провалюється через отвори тарілок.

Тарілки мають малий опір, високий к. к. д., працюють при значних навантаженнях. Основною перевагою ситчастих тарілок є простота їх конструкції.

### 2.3 Опис конструкції дефлегматора

Дефлегматор – одноходовий кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі горизонтальний (рис. 2.3) складається з трубного пучка 1, кришки 2 і 3, які з'єднуються між собою за допомогою фланців.

На корпусі розміщені патрубки (штуцера), через які один теплоносій проходить через міжтрубний простір. Другий теплоносій через патрубки (штуцера) на кришках рухається по трубах. Штуцери для введення і виведення середовища повинні мати відповідні фланці. Апарат обладнаний нарізними пробками або штуцерами для спорожнення трубного і міжтрубного просторів, а

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

також штуцерами-повітряниками, які встановлюються в нижніх і верхніх точках відповідних порожнин. Апарат з температурним компенсатором на кожусі обладнаний лінзовим компенсатором, призначеним для зниження температурних напружень, яка виникає в трубах і кожусі в робочих умовах. Дефлегматор встановлений на сідлових опорах, одна з яких нерухома, а друга – рухома.

До корпусу по торцях приварені трубні решітки, в яких закріплені теплообмінні труби. В основному труби в решітках кріпляться розвальцьовуванням або якимсь іншим способом залежно від матеріалу труб і тиску в апараті. Трубні решітки закриваються кришками болтах або шпильках. У багатоходовому теплообміннику в корпусі і кришках встановлені перегородки для підвищення швидкості теплоносіїв.

Дефлегматор призначений для конденсації пари і подачі зрошування (флегми) в колону, є кожухотрубчастий теплообмінник, в міжтрубному просторі якого рухається охолоджуючий агент (вода), а в трубах конденсується пара. Проте питання про напрям пари, що конденсується, і охолоджуючого агента всередину або зовні труб слід вирішувати у кожному конкретному випадку, враховуючи бажаність підвищення коефіцієнта теплопередачі і зручність очищення поверхні теплообміну.

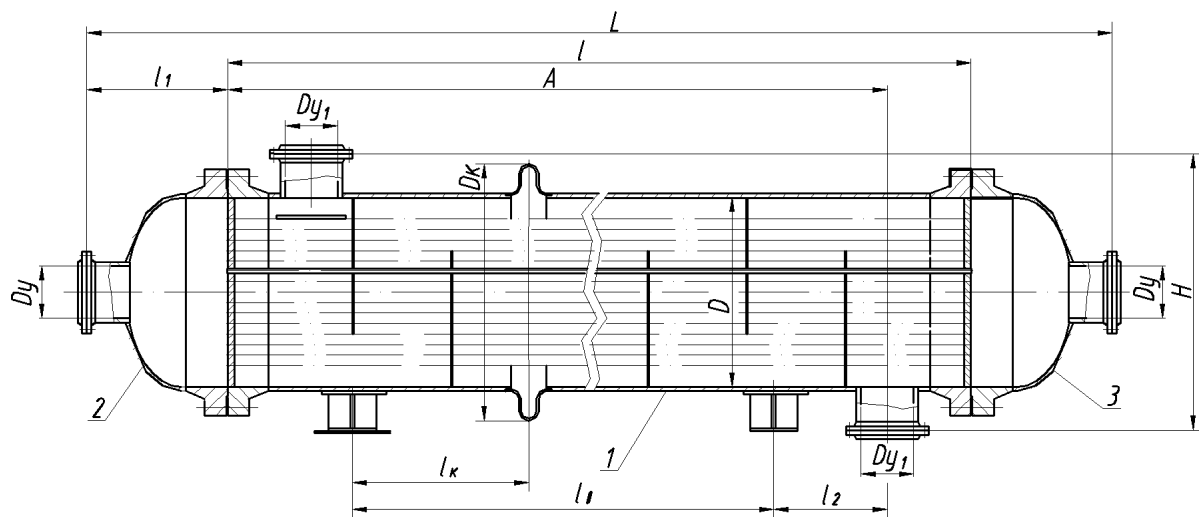


Рисунок 2.3 – Кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі горизонтальний одноходовий по трубах

									2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
										19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата						



### 3 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Специфічні умови експлуатації хімічного устаткування, що характеризуються широким діапазоном тиску і температур при агресивній дії середовища, визначають наступні вимоги до конструкційних матеріалів:

- низька хімічна і корозійна стійкість матеріалів в неагресивному середовищі при робочих температурах;
- висока механічна міцність при заданому робочому тиску, температурі і додаткових навантаженнях, що виникають при гідравлічному випробуванні і експлуатації апаратів;
- хороше зварювання матеріалів із забезпеченням високих механічних властивостей зварних з'єднань;
- низька вартість і недефіцитність матеріалів.

Вибір матеріалів визначається робочим тиском, температурою стінки апарату, хімічним складом і характером середовища. Необхідно також враховувати технологічні властивості матеріалу.

Хімічні середовища в тій чи іншій мірі завжди викликають корозію матеріалу апарату, тому для виготовлення їх застосовуються різні метали і сплави. Найбільше застосування знаходять сталі. Завдяки здатності змінювати свої властивості залежно від складу, можливості термічної і механічної обробки сталі з низьким вмістом вуглецю добре штампуються, але погано обробляються різанням. Добавки інших металів - легуючих елементів - покращують якість сталей і додають їм особливі властивості (наприклад, хром покращує механічні властивості, зносостійкість і корозійну стійкість; нікель підвищує міцність, пластичність; кремній збільшує жаростійкість).

При конструюванні необхідно враховувати економічну доцільність застосування вибраного матеріалу, тобто його витрату і вартість відповідно до вимог, що пред'являються до апаратів.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

У дефлегматорі, що проектується, по трубному простору рухається охолоджуюча вода, тому згідно з [16] для виготовлення кришок застосовуємо сталь Ст3сп за ГОСТ 380. Матеріал труб для виготовлення патрубків кришок - сталь 10 за ГОСТ 8732.

По міжтрубному простору дефлегматора рухається пара дистилляту (діхлоретан). Тому згідно з [16] для виготовлення обичайки, трубних решіток, фланців та перегородок застосовуємо сталь 12Х18Н10Т за ГОСТ 5632, для теплообмінних труб та патрубків - сталь 12Х18Н10Т за ГОСТ 9941.

Матеріал кріпильних виробів (болтів) по рекомендаціях [22] для фланців штуцерів з вуглецевої сталі - сталь 40 ГОСТ 1050, для гайок - сталь 20 ГОСТ 1050. Матеріал болтів та гайок для фланців штуцерів з нержавіючої сталі - сталь 20Х13 ГОСТ 5632. Матеріал опори і цапф для стропування – сталь ст3сп по ГОСТ 380. Матеріал прокладок - паронит ПОН за ГОСТ 481.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

#### 4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ДЕФЛЕГМАТОРА

Початкові дані

Продуктивність по вихідній суміші	5,5 т/год;
Концентрація НКК (діхлоретану):	
у вхідній суміші	$\alpha_F = 45\%$ (іаїї .),
в дистилляті	$\alpha_D = 98\%$ (іаїї .),
в кубовому залишку	$\alpha_W = 1,5\%$ (іаїї .).
Температура:	
остудної води	12 °С,
дистилляту після холодильника	21 °С,
кубового залишку після холодильника	21 °С,
вхідної суміші	16 °С.
Тиск насиченої водяної пари	5,5 кгс/см <sup>2</sup>
Коефіцієнт надлишку флегми	1,5
Колона працює під атмосферним тиском	

##### 4.1 Визначення продуктивності по дистилляту і кубовому залишку

Продуктивність колони по дистилляту визначаємо за формулою:

$$G_p = G_F \cdot \frac{\alpha_F - \alpha_W}{\alpha_p - \alpha_W} = 5500 \cdot \frac{0,45 - 0,015}{0,98 - 0,015} = 2479,27 \text{ т/год} = 0,689 \text{ т/н}$$

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо з рівняння:

$$G_w = G_F - G_p$$

$$G_w = 5500 - 2479,27 = 3020,73 \text{ т/год} = 0,839 \text{ т/н}$$

Перевірка:

$$G_F \cdot \alpha_F = G_p \cdot \alpha_p + G_w \cdot \alpha_w$$

$$5500 \cdot 0,45 = 2479,27 \cdot 0,98 + 3020,73 \cdot 0,015$$

$$2475 = 2429,69 + 45,31$$

$$2475 = 2475$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		22

#### 4.2 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні за формулою:

$$X = \frac{\frac{\alpha}{M_A}}{\frac{\alpha}{M_A} + \frac{1-\alpha}{M_B}}$$

- де  $X$  – концентрація низькокип'ячого компонента А в бінарній суміші, мол. частки;  
 $\alpha$  – вміст низькокип'ячого компонента А в бінарній суміші, мас. частки;  
 $M_A, M_B$  – молярна маса компонента А і В (відповідно).

Молярні маси: діхлоретан – 98 кг/кмоль.

Толуол – 92 кг/кмоль.

Тоді концентрація вхідної суміші:

$$X_F = \frac{\frac{\alpha_F}{M_A}}{\frac{\alpha_F}{M_A} + \frac{1-\alpha_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,45}{98}}{\frac{0,45}{98} + \frac{1-0,45}{92}} = 0,434;$$

дистиляту:

$$X_P = \frac{\frac{\alpha_P}{M_A}}{\frac{\alpha_P}{M_A} + \frac{1-\alpha_P}{M_B}} = \frac{\frac{0,98}{98}}{\frac{0,98}{98} + \frac{1-0,98}{92}} = 0,979;$$

кубового залишку:

$$X_W = \frac{\frac{\alpha_W}{M_A}}{\frac{\alpha_W}{M_A} + \frac{1-\alpha_W}{M_B}} = \frac{\frac{0,015}{98}}{\frac{0,015}{98} + \frac{1-0,015}{92}} = 0,014.$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графо-аналітичним способом. Для цього на підставі досвідчених даних, в координатах у-х будуємо криву рівноваги для суміші діхлоретан-толуол при атмосферному тиску (рис.4.1) і криву температур кипіння і конденсації (рис.4.2)

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

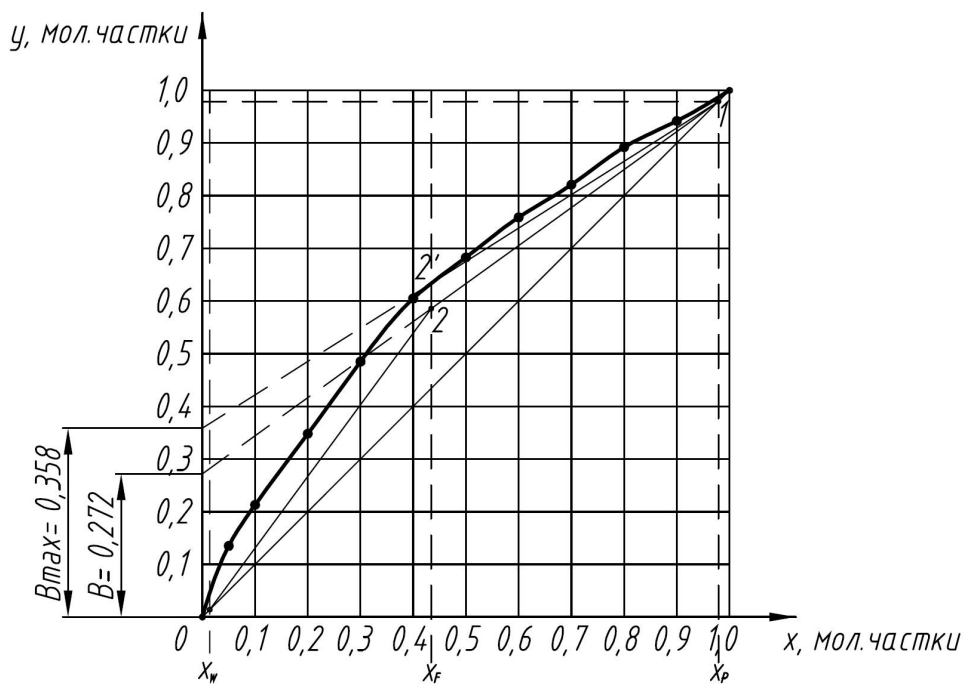


Рис.4.1 – До визначення мінімального флегмового числа

Таблиця 4.1–Рівноважні дані для суміші діхлоретан–толуол

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
в рідині (x)	в парі (y)	
0	0	110,8
5	13,5	107,8
10	21,3	106,4
20	34,8	102,7
30	48,5	99,8
40	60,5	97,1
50	68,3	94,3
60	75,9	91,7
70	82,1	89,1
80	89,2	87,5
90	94,2	85,5
100	100	83,7



### 4.3 Визначення середніх значень параметрів по колоні, фізико-хімічних і термодинамічних констант фаз

Рідка фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{\text{cp}}^i = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,014 + 0,434}{2} = 0,224$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{\text{cp}}^{\hat{a}} = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,434 + 0,979}{2} = 0,706$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{\text{cp}} = \frac{X_{\text{cp}}^i + X_{\text{cp}}^{\hat{a}}}{2} = \frac{0,224 + 0,706}{2} = 0,465$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$\alpha_{\text{cp}} = \frac{x_{\text{cp}} \cdot M_A}{x_{\text{cp}} \cdot M_A + (1 - x_{\text{cp}}) \cdot M_B}$$
$$\alpha_{\text{cp}} = \frac{0,465 \cdot 98}{0,465 \cdot 98 + (1 - 0,465) \cdot 92} = 0,481$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{\text{до cp}}^i = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{109,82 + 96,14}{2} = 102,98 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{\text{до cp}}^{\hat{a}} = \frac{t_{XF} + t_{XD}}{2} = \frac{96,14 + 84,06}{2} = 90,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура по колоні:

$$t_{X_{\text{п0}}} = \frac{t_{\text{до cp}}^i + t_{\text{до cp}}^{\hat{a}}}{2} = \frac{102,98 + 90,1}{2} = 96,54 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Значення  $t_{XW}$ ,  $t_{XF}$ ,  $t_{XP}$  взяті з діаграми  $t-x$ ,  $y$  (рис.2).

Середня мольна маса:

$$M_{x_{\text{cp}}} = M_A \cdot X_{\text{п0}} + M_B \cdot (1 - X_{\text{п0}})$$
$$M_{x_{\text{cp}}} = 98 \cdot 0,465 + 92 \cdot (1 - 0,465) = 94,79 \text{ г/моль}$$

Середня щільність визначається за формулою:

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		26

$$\rho_{x \text{ ср}} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_{\text{ср}} + \rho_A \cdot (1 - \alpha_{\text{ср}})}$$

де  $\rho_A$  і  $\rho_B$  – ільність компонентів А (діхлоретан) і В (толуол) при температурі  $t_{\text{ср}}$ .

$$\rho_A = 1138 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_{\text{ср}} = 96,54 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_B = 791 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{x \text{ ср}} = \frac{1138 \cdot 791}{791 \cdot 0,481 + 1138 \cdot (1 - 0,481)} = 926,95 \text{ кг/м}^3$$

Середню в'язкість розраховуємо за формулою:

$$\lg \mu_{x \text{ ср}} = X_{\text{н0}} \cdot \lg \mu_A + (1 - X_{\text{н0}}) \cdot \lg \mu_B$$

де  $\mu_A$  і  $\mu_B$  – динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А (діхлоретан) і В (толуол), Па·с.

$$\mu_A = 0,37 \text{ мПа}\cdot\text{с при } t_{\text{ср}} = 96,54 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu_B = 0,279 \text{ мПа}\cdot\text{с}.$$

$$\lg \mu_{x \text{ ср}} = 0,465 \cdot \lg 0,37 + (1 - 0,465) \cdot \lg 0,279 = -0,497$$

$$\mu_{x \text{ ср}} = 0,318 \text{ Па}\cdot\text{с} \quad \eta = 0,318 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Середній поверхневий натяг визначаємо за рівнянням:

$$\sigma_{x \text{ ср}} = \sigma_A \cdot X_{\text{н0}} + \sigma_B (1 - X_{\text{н0}})$$

де  $\sigma_A$  і  $\sigma_B$  – поверхневі натяги компонентів А (діхлоретан) і В (толуол), Н/м.

$$\sigma_A = 21,77 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м при } t_{x \text{ ср}} = 96,54 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sigma_B = 19,76 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}.$$

$$\sigma_{x \text{ ср}} = 21,77 \cdot 10^{-3} \cdot 0,465 + 19,76 \cdot 10^{-3} (1 - 0,465) = 20,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаємо за формулою:

$$D_{x(t)} = D_{x(20)} \cdot [1 + b \cdot (t - 20)]$$

де  $D_{x(20)}$  – коефіцієнт дифузії при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$$b = \frac{0,2 \sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}}$$

тут  $\mu$  [мПа·с] і  $\rho$  [кг/м<sup>3</sup>] – в'язкість і щільність розчинника (діхлоретан) при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t = t_{x \text{ ср}}$ .

Коефіцієнт дифузії при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  розраховуємо по емпіричному рівнянню:

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		27



$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{A \cdot B \cdot \sqrt{\mu} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}$$

де  $V_A$  і  $V_B$  – мольні об'єми компонентів А і В, см<sup>3</sup>/моль;  
 $A, B$  – коефіцієнти, що залежать від властивостей компонентів,  
 $A=1; B=1$ .

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} = \frac{0,2\sqrt{0,84}}{\sqrt[3]{1254}} = 0,017$$

Мольні об'єми компонентів:

$$V_A = 14,8 \cdot 2 + 3,7 \cdot 4 + 24,6 \cdot 2 = 93,6 \text{ ñ }^3/\text{ññü}$$

$$V_{\hat{A}} = 14,8 \cdot 7 + 3,7 \cdot 8 = 133,2 \text{ ñ }^3/\text{ññü}$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,84} (93,6^{1/3} + 133,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{98} + \frac{1}{92}} = 1,64 \cdot 10^{-8} \text{ ñ }^2/\text{ñ}$$

$$D_{x(t)} = 1,64 \cdot 10^{-8} [1 + 0,017 \cdot (96,54 - 20)] = 3,77 \cdot 10^{-8} \text{ ñ }^2/\text{ñ}$$

Парова фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$\acute{O}_{\text{cp}}^i = \frac{\acute{o}_W + \acute{o}_F}{2} = \frac{0,014 + 0,585}{2} = 0,299.$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$\acute{O}_{\text{cp}}^{\hat{a}} = \frac{\acute{o}_F + \acute{o}_P}{2} = \frac{0,585 + 0,979}{2} = 0,782.$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$\acute{O}_{\text{cp}} = \frac{\acute{O}_{\text{cp}}^i + \acute{O}_{\text{cp}}^{\hat{a}}}{2} = \frac{0,299 + 0,782}{2} = 0,541.$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{\acute{o}_{\text{cp}}}^i = 100,8 \text{ }^{\circ}\text{Ñ}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{\acute{o}_{\text{cp}}}^{\hat{a}} = 90,7 \text{ }^{\circ}\text{Ñ}$$

Температури  $t_{y_{\text{cp}}}^H, t_{y_{\text{cp}}}^B$ , знайдені з діаграми  $t-x, y$  (рис. 4.1).

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Середня температура по колоні:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{ср}}^i + t_{\text{ср}}^a}{2} = \frac{100,8 + 90,7}{2} = 95,75 \text{ } ^\circ\text{N}$$

Середня мольна маса:

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

$$M_{y_{\text{ср}}} = 98 \cdot 0,541 + 92 \cdot (1 - 0,541) = 95,25 \text{ г/моль}$$

Середня щільність:

$$\rho_{y_{\text{ср}}} = \frac{M_{y_{\text{ср}}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}$$

де  $T = 273 + t_{y_{\text{ср}}}$ ,  $^\circ\text{C}$ ;

$P = 1 \text{ кгс/см}^2$  (тиск в колоні атмосферний).

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{95,25}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 95,75)} = 3,05 \text{ г/л}$$

Середня в'язкість:

$$\frac{\dot{\mu}_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}} = \frac{\dot{\mu}_{\text{ср}} \cdot \dot{\mu}_A}{\mu_{\text{ср}} \cdot \dot{\mu}_A} + \frac{(1 - \dot{\mu}_{\text{ср}}) \cdot \dot{\mu}_B}{\mu_{\text{ср}} \cdot \dot{\mu}_B}$$

де  $\mu_{y_A}$  і  $\mu_{y_B}$  – динамічний коефіцієнт в'язкості пари компонента А і В.

$$\mu_{y_A} = 0,373 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с при } t_{y_{\text{ср}}} = 95,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_{y_B} = 0,281 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с.}$$

$$\frac{95,25}{\mu_{\text{ср}}} = \frac{0,541 \cdot 98}{0,373 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,541) \cdot 92}{0,281 \cdot 10^{-5}}$$

$$\mu_{\text{ср}} = 3,257 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначаємо за рівнянням:

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{P \cdot (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}$$

де  $P$  – тиск,  $\text{кгс/см}^2$  (тиск в колоні атмосферний);

$$T = 273 + t_{y_{\text{ср}}}, \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 368,75^{3/2}}{1 \cdot (93,6^{1/3} + 133,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{98} + \frac{1}{92}} = 4,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		29

#### 4.4 Визначення діаметра колони

Діаметр колони визначаємо за рівнянням

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}}$$

Витрата, що проходить по колоні пари, може бути визначений:

$$V_{\dot{o}} = \frac{G_{\dot{o}}}{\rho_{\dot{o} \text{ ср}}} = \frac{G_p \cdot (R+1)}{\rho_{\dot{o} \text{ ср}}}$$
$$V_{\dot{o}} = \frac{2479,27 \cdot (2,6+1)}{3600 \cdot 3,05} = 0,813 \text{ м}^3/\text{с}$$

Швидкість пари в колоні визначаємо по рівнянню. Попередньо приймаємо відстань між тарілками  $h=500$  мм. Використовуємо раніше знайдені  $\rho_{\dot{o} \text{ нд}} = 926,95 \text{ кг/м}^3$  і  $\rho_{\dot{o} \text{ нд}} = 3,05 \text{ кг/м}^3$ . Для ситчатих тарілок за графіком знаходимо  $\check{N} = 0,075$ .

Швидкість пари в колоні:

$$W = 1,0 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{0,813}{0,785 \cdot 1,0}} = 1,036 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони  $D=1,2$  м і уточнюємо швидкість пари в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2}$$
$$W = \frac{0,813}{0,785 \cdot 1,2^2} = 0,719 \text{ м}^3/\text{с}$$

#### 4.5 Визначення висоти колони

За рівнянням знаходимо коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі:

$$\beta_{xf} = \frac{38000 \cdot \rho_{x \text{ ср}} \cdot D_{x(t)} \cdot (Pr')^{0,62}}{M_{x \text{ ср}} \cdot h}$$
$$Pr' = \frac{\mu_{x \text{ ср}}}{D_{x(t)} \cdot \rho_{x \text{ ср}}} = \frac{0,318 \cdot 10^{-3}}{3,77 \cdot 10^{-8} \cdot 926,95} = 10$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\beta_{xf} = \frac{38000 \cdot 926,95 \cdot 3,77 \cdot 10^{-8}}{94,79 \cdot 1} \cdot (10)^{0,62} = 0,058 \frac{\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2}$$

Коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі знаходимо за рівнянням:

$$\beta_{yf} = \frac{D_y}{22,4} \cdot (0,79 \cdot \text{Re}_y + 11000)$$

$$\text{Re}_y = \frac{W \cdot h \cdot \rho_{y \text{cp}}}{\mu_{y \text{cp}}}$$

$$\text{Re}_y = \frac{0,719 \cdot 1 \cdot 3,05}{3,257 \cdot 10^{-6}} = 673304$$

$$\beta_{yf} = \frac{4,75 \cdot 10^{-6}}{22,4} \cdot (0,79 \cdot 673304 + 11000) = 0,115 \frac{\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2}$$

Загальний коефіцієнт масопередачі  $K_{yf}$  знаходимо з рівняння:

$$\frac{1}{K_{yf}} = \frac{1}{\beta_{yf}} + \frac{m}{\beta_{xf}},$$

де  $m = \frac{y^* - y}{x - x^*}$  – тангенс кута нахилу лінії рівноваги;

$y^*, x^*$  – рівноважні концентрації.

Так як величина  $m$  є змінною по висоті колони, знаходимо її значення для різних концентрацій, використовуючи діаграму (рис. 4.3).

В межах від  $X_w$  до  $X_p$  вибираємо ряд значень  $X$ , для кожного значення  $X$  визначаємо по діаграмі (рис. 4.3) величини  $y^*-y$ ,  $x-x^*$  як різниця між рівноважною і робочою лінією, а потім по цим значенням визначаємо величину  $m$ . Результати зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Визначення коефіцієнта масопередачі

x	0,014	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,979
$y^*-y$	0,031	0,082	0,0809	0,0819	0,0657	0,0499	0,0537	0,0435	0,0423	0,02005	0,00803
$x-x^*$	0,009	0,0435	0,0599	0,0599	0,0595	0,0603	0,0594	0,0708	0,0643	0,0556	0,01316
m	3,21	1,89	1,35	1,36	1,1	0,83	0,9	0,61	0,66	0,36	0,61
$K_{yf} \cdot 10^3$	15,6	24,22	31,3	31,11	36,15	43,46	41,3	52,05	49,81	67,1	52,05

Для побудови кінетичної кривої скористаємося формулою:

$$y^* - y_k = (y^* - y_H) \cdot e^{-\frac{K_{yf} \cdot f_m}{G_y}}$$

Значення різниці  $(y^* - y_H)$  це значення  $AC = (y^* - y)$  для кожного вибраного значення  $x$  в межах від  $x_w$  до  $x_p$ .

Робоча площа тарілки може бути знайдена з Додатка В, таблиця В.1.:

$$F_p = 1,010 \text{ м}^2$$

Мольна витрата пари по колоні:

$$G_{\delta} = \frac{G_p \cdot (R + 1)}{M_{\delta \text{ ср}}}$$

$$G_{\delta} = \frac{2479,27 \cdot (2,6 + 1)}{3600 \cdot 95,25} = 0,026 \text{ кмоль/с}$$

Таблиця 4.3 – До побудови кінетичної кривої

x	0,014	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,979
$\frac{K_{yf} \cdot F_p}{G_y}$	0,606	0,941	1,19	1,21	1,4	1,69	1,6	2,02	1,93	2,61	2,02
$\overline{AC}$ , мм	3,15	8,2	8,09	8,19	6,57	4,99	5,37	4,35	4,23	2	0,8
$\overline{BC} = \frac{\overline{AC}}{e^{\frac{K_{yf} \cdot F_p}{G_y}}}$ , мм	1,72	3,21	2,47	2,45	1,63	0,93	1,09	0,58	0,62	0,15	0,27

За даними таблиці 4.3 будуємо кінетичну криву. Точки  $A_1, A_2, A_3 \dots A_{10}$  лежать на робочих лініях, точки  $C_1, C_2, C_3 \dots C_{10}$  – на рівноважній кривій. Обчислені відрізки  $B_1C_1, B_2C_2, B_3C_3 \dots B_{10}C_{10}$  відкладаються від відповідних точок вниз. Кінетична крива починається на початку координат, що проходить через точки  $B_1, B_2, B_3 \dots B_{10}$  і закінчується в правому верхньому куті діаграми  $y-x$  (рис. 4.3).

Число дійсних тарілок, яке забезпечує задану чіткість поділу, визначається шляхом побудови "сходинок" між робочими і кінетичною лінією. Число ступенів в межах концентрацій  $X_w \div X_p$  дорівнює числу дійсних тарілок.



$$W_0 = 0,719/0,08 = 8,99 \text{ і } /\text{ñ}$$

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{1,3d_0 + 0,08d_0^2} = \frac{4 \cdot 20,7 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 0,005 + 0,08 \cdot 0,005^2} = 12,73 \text{ ĩa}$$

Для визначення статичного тиску рідини на тарілці визначаємо витрату рідкої фази в нижній частині колони за формулою:

$$L = G_p \cdot R + G_F$$

$$L = 2479,27 \cdot 2,6 + 5500 = 11946 \text{ êã/÷}$$

або в об'ємному вираженні 12,89 м<sup>3</sup>/год. (розділивши на  $\rho_{x \text{ ñò}} = 926,95 \text{ êã/ì}^3$ )

Для колони D = 1,2 м, довжина зливного борту l<sub>ст</sub> = Π = 0,722 м, тоді інтенсивність потоку  $\frac{L}{l_{\text{ñè}}} = \frac{12,89}{0,722} = 17,85 \frac{\text{ì}^3}{\text{÷} \cdot \text{ì}}$ .

Так як  $\frac{L}{l_{\text{ñè}}} = 17,85 > 5 \frac{\text{ì}^3}{\text{÷} \cdot \text{ì}}$ , то m = 10000

Тоді за рівнянням:

$$\Delta P_{\text{ñò}} = 1,3 \left[ \hat{E} \cdot h_{\text{ñò}} + \sqrt[3]{\hat{E} \left( \frac{L}{m \cdot l_{\text{ñè}}} \right)^2} \right] \cdot \rho_{x \text{ ñò}} \cdot g$$

$$\Delta P_{\text{ñò}} = 1,3 \left[ 0,5 \cdot 0,03 + \sqrt[3]{0,5 \left( \frac{17,85}{10000 \cdot 0,722} \right)^2} \right] \cdot 926,95 \cdot 9,81 = 349 \text{ ĩa}$$

Гідравлічний опір однієї тарілки:

$$\Delta D_0 = \Delta P_{\text{ñò}} + \Delta D_{\sigma} + \Delta D_{\text{ñò}}$$

$$\Delta D_0 = 224 + 12,73 + 349 = 585,73 \text{ ĩa}$$

Гідравлічний опір колони:

$$\Delta D_K = n \cdot \Delta P_0$$

$$\Delta D_K = 27 \cdot 585,73 = 15814,71 \text{ ĩa}$$

Раніше прийняту відстань між тарілками h=0,5 м перевіряємо за співвідношенням:

$$h > 1,8 \cdot \Delta P_0 / \rho_{x \text{ ñò}} \cdot g,$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		34

$$h = 0,5 \text{ м} > 1,8 \cdot \frac{585,73}{926,95 \cdot 9,81} = 0,16 \text{ м} - \text{ умова виконується.}$$

#### 4.7 Визначення діаметра штуцерів

Діаметр штуцера визначаємо за рівнянням

$$d = \sqrt{\frac{V_{\delta}}{0,785 \cdot W_{\delta}}}$$

Штуцер подачі флегми:

$$V_{\delta} = \frac{G_{\delta}}{\rho_A} = \frac{G_{\delta} \cdot R}{\rho_A}$$

$$V_{\delta} = \frac{2479,27 \cdot 2,6}{3600 \cdot 1156,91} = 1,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Так як швидкість потоку приймаємо орієнтовно, то можна прийняти щільність флегми, як щільність діхлоретана:  $\rho_A = 1156,91 \text{ кг/м}^3$  при  $t = 84,06 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Приймаємо  $W_{\phi} = 0,5 \text{ м/с}$ , тоді

$$d = \sqrt{\frac{1,55 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,063 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера  $\text{Ø}89 \times 4 \text{ мм}$ .

Штуцер подачі вхідної суміші:

$$d = \sqrt{\frac{V_F}{0,785 \cdot W_F}}$$

$$V_F = \frac{G_F}{\rho_F}; \quad \rho_F = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_F + (1 - \alpha_F) \cdot \rho_A},$$

при  $t_{XF} = 96,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\rho_F = \frac{1138,79 \cdot 791,86}{791,86 \cdot 0,45 + (1 - 0,45) \cdot 1138,79} = 917,66 \text{ кг/м}^3$$

$$V_F = \frac{5500}{3600 \cdot 917,66} = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Приймаємо  $W_F = 0,8 \text{ м/с}$ , тоді:

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		



$$d = \sqrt{\frac{1,66 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,051 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø57x3 мм.

Штуцер виходу кубового залишку:

$$d = \sqrt{\frac{V_w}{0,785 \cdot W_w}}$$

$$V_w = \frac{G_w}{\rho_w} = \frac{3020,73}{3600 \cdot 777,2} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

$\rho_{\text{А}} = 777,2 \text{ кг/м}^3$  – щільність толуолу при  $t_{\text{ХВ}} = 109,82 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Приймаємо  $W_w = 0,3 \text{ м/с}$ , тоді

$$d = \sqrt{\frac{1,08 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,067 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø89x4 мм.

Штуцер виходу кубової рідини (подається на кип'ятильник):

$$d = \sqrt{\frac{V_{\text{е.а}}}{0,785 \cdot W_{\text{е.а}}}}$$

$$V_{\text{е.а}} = \frac{G_F + G_{\text{О}} - G_w}{\rho_{\text{А}}}$$

$$V_{\text{е.а}} = \frac{5500 + 2479,27 \cdot 2,6 - 3020,73}{3600 \cdot 777,2} = 3,19 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Приймаємо  $W_{\text{к.ж}} = 0,3 \text{ м/с}$ , тоді:

$$d = \sqrt{\frac{3,19 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,116 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø133x4 мм.

Штуцер виходу пари з колони:

$$d = \sqrt{\frac{V_{\text{о}}}{0,785 \cdot W_{\text{о}}}}$$

$V_y = 0,813 \text{ м}^3/\text{с}$  (див. розділ 3.4).

Приймаємо  $W_y = 15 \text{ м/с}$ , тоді

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

$$d = \sqrt{\frac{0,813}{0,785 \cdot 15}} = 0,263 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø273x7 мм, [6, с.17].

#### 4.8 Теплові розрахунки

##### 4.8.1 Підігрівач вхідної суміші

Рівняння теплового балансу для підігрівача:

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot C_F' \cdot (t_{XF} - t_{i\ddot{a}F}) = G_{\ddot{a}I} \cdot r,$$

де тут теплові втрати прийняті в розмірі 5% від корисно витраченої теплоти;

$t_{XF}$  – температура кипіння вхідної суміші;

$t_{i\ddot{a}F}$  – початкова температура (задана).

Питома теплоємність вхідної суміші:

$$C_F' = \ddot{a}_F \cdot C_A + (1 - \ddot{a}_F) \cdot C_B,$$

де  $\ddot{N}_A, \ddot{N}_{\ddot{A}}$  – питомі теплоємності діхлоретану і толуолу при середній температурі.

$$t_{XF}^{cp} = \frac{t_{XF} + t_{i\ddot{a}F}}{2}$$

$$t_{XF}^{cp} = \frac{96,14 + 16}{2} = 56,07 \text{ } ^\circ\ddot{N}$$

$$C_A = 0,313 \frac{\text{êêâë}}{\text{êã} \cdot ^\circ\ddot{N}}$$

$$C_{\ddot{A}} = 0,447 \frac{\text{êêâë}}{\text{êã} \cdot ^\circ\ddot{N}}$$

$$C_F' = 0,45 \cdot 0,313 + (1 - 0,45) \cdot 0,447 = 0,387 \frac{\text{êêâë}}{\text{êã} \cdot ^\circ\ddot{N}} = 1621,53 \frac{\text{Äæ}}{\text{êã} \cdot \hat{E}}$$

$$Q = 1,05 \cdot \frac{5500}{3600} \cdot 1621,53 \cdot (96,14 - 16) = 208460 \text{ Äò}$$

Витрата грючої пари:

$$G_{\ddot{a}I} = \frac{Q}{r}$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		

$$G_{a.i} = \frac{208460}{2106 \cdot 10^3} = 0,099 \text{ т/год}$$

$$r = 2106 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ при } P = 5,5 \text{ кгс/см}^2$$

Середня різниця температур

$$154,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \longrightarrow 154,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$16 \text{ }^{\circ}\text{C} \longrightarrow 96,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температура насиченої водяної пари при  $P=5,5 \text{ кгс/см}^2$  становить  $154,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  [1, с.550].

Більша різниця температур:

$$\Delta t_a = 154,6 - 16 = 138,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_i = 154,6 - 96,14 = 58,46 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Так як  $\frac{\Delta t_a}{\Delta t_i} = \frac{138,6}{58,46} = 2,37 > 2$ , тоді середню різницю температур визначаємо

за рівнянням:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_a - \Delta t_i}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_i}}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{138,6 - 58,46}{\ln \frac{138,6}{58,46}} = 92,83 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Коефіцієнт теплопередачі приймаємо орієнтовно рівним  $250 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  [6, с. 47].

Поверхня теплообміну підігрівача вхідної суміші:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}}$$

$$F = \frac{208460}{250 \cdot 92,83} = 8,98 \text{ м}^2$$

Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками [6, с. 51]:

- діаметр кожуха 273 мм;
- труба 25x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 37 шт;

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

- довжина труб 3,0 м;
- поверхня теплообміну 9,0 м<sup>2</sup>.

#### 4.8.2 Дефлегматор (конденсатор)

Витрата теплоти, що віддається охолодній воді при конденсації парів в дефлегматорі, визначається з рівняння теплового балансу дефлегматора:

$$Q_{\bar{A}} = G_p \cdot (R + 1) \cdot r_p = G_B \cdot C_B \cdot (t_K - t_f)$$

$$\text{де } r_p = \alpha_D \cdot r_A + (1 - \alpha_D) \cdot r_B$$

Питомі теплоти пароутворення дихлоретану  $r_A$  і толуолу  $r_B$  при  $t_{xp} = 84,06$  °С:

$$r_A = 320 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} ; r_B = 376,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad [1, \text{с. 542}];$$

$$r_p = 0,98 \cdot 320 + (1 - 0,98) \cdot 376,7 = 321 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$Q_{\bar{A}} = \frac{2479,27}{3600} \cdot (2,6 + 1) \cdot 321 \cdot 10^3 = 7,96 \cdot 10^5 \text{ Вт}$$

приймаємо температуру охолодної води на виході з дефлегматора 25 °С, тоді витрата охолодної води:

$$G_{\bar{A}} = \frac{Q_{\bar{A}}}{\tilde{N}_{\bar{A}} \cdot (t_e - t_i)}$$

$$G_{\bar{A}} = \frac{7,96 \cdot 10^5}{4190 \cdot (25 - 12)} = 14,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

Середня різниця температур при протиточній схемі руху теплоносіїв:

84,06 °С —————> 84,06 °С

25 °С <————— 12 °С

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\bar{a}} = 84,06 - 12 = 72,06 \text{ °С}$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_i = 84,06 - 25 = 59,06 \text{ °С}$$

Так як  $\frac{\Delta t_{\bar{a}}}{\Delta t_i} = \frac{72,06}{59,06} = 1,22 < 2$ , то

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

$$\Delta t_{\text{нб}} = \frac{\Delta t_{\text{а}} + \Delta t_{\text{і}}}{2}$$

$$\Delta t_{\text{нб}} = \frac{72,06 + 59,06}{2} = 65,56 \text{ }^{\circ}\text{N}$$

Приймаємо орієнтовно коефіцієнт теплопередачі  $K=500 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  [6, с. 47].

Поверхня теплообміну дефлегматора:

$$F = \frac{Q_{\text{А}}}{K \cdot \Delta t_{\text{нб}}}$$

$$F = \frac{7,96 \cdot 10^5}{500 \cdot 65,56} = 24,28 \text{ м}^2$$

Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками [6, с. 51]:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 100 шт;
- довжина труб 4 м;
- поверхня теплообміну 25 м<sup>2</sup>.

#### 4.8.3 Холодильники дистилляту і кубового залишку

Витрата теплоти, що віддається остидній воді у водяному холодильнику дистилляту, визначається з рівняння теплового балансу:

$$Q = G_{\text{р}} \cdot C_{\text{р}}' \cdot (t_{\text{Хр}} - t_{\text{р еіі}}) = G_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{і}}),$$

де  $C_{\text{р}}'$  – теплоємність дистилляту при його середній температурі  $(t_{\text{Хр}} + t_{\text{р кін}})/2$ ;

$t_{\text{д еіі}}$  – кінцева температура дистилляту після холодильника,  $^{\circ}\text{C}$  (за умовою завдання).

$$C_{\text{р}}' = \alpha_{\text{д}} \cdot \tilde{N}_{\text{А}} + (1 - \alpha_{\text{д}}) \cdot \tilde{N}_{\text{А}}$$

$$C_{\text{А}} = 0,309 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{N}}$$

$$C_{\text{А}} = 0,443 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{N}} \text{ при середній температурі:}$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

$$t_{\text{нò}} = \frac{t_{\text{Xp}} + t_{\text{pèii}}}{2}$$

$$t_{\text{нò}} = \frac{84,06 + 21}{2} = 52,53 \text{ } ^\circ\text{Ñ} \text{ [1, с. 562]}$$

$$C_p' = 0,98 \cdot 0,309 + (1 - 0,98) \cdot 0,443 = 0,312 \frac{\text{êèàë}}{\text{êã} \cdot ^\circ\text{Ñ}} = 1307,27 \frac{\text{Äæ}}{\text{êã} \cdot \text{Ê}}$$

$$Q = \frac{2479,27}{3600} \cdot 1307,27 \cdot (84,06 - 21) = 56773 \text{ Äò}$$

Витрата остиудної води при нагріванні її на 15 °С в холодильнику товарного дистилляту:

$$G_{\text{Ä}} = \frac{Q}{\text{Ñ}_{\text{Ä}} \cdot (t_{\text{è}} - t_{\text{i}})}$$

$$G_{\text{Ä}} = \frac{67315}{4190 \cdot (25 - 10)} = 1,07 \text{ êã/ñ}$$

Середня різниця температур при протиточній схемі руху теплоносіїв:

84,06 °С  $\longrightarrow$  84,06 °С

27 °С  $\longleftarrow$  12 °С

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{ä}} = 84,06 - 12 = 72,06 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_{\text{i}} = 84,06 - 27 = 57,06 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$$

Так як  $\frac{\Delta t_{\text{ä}}}{\Delta t_{\text{i}}} = \frac{72,06}{57,06} = 1,26 < 2$ , то середню різницю температур визначасмо

$$\Delta t_{\text{нò}} = \frac{\Delta t_{\text{ä}} + \Delta t_{\text{i}}}{2}$$

$$\Delta t_{\text{нò}} = \frac{72,06 + 57,06}{2} = 64,56 \text{ } ^\circ\text{Ñ}$$

При орієнтовному значенні  $K = 400 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  поверхня теплообміну холодильника товарного дистилляту складе:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{нò}}}$$

$$F = \frac{56773}{400 \cdot 64,56} = 2,2 \text{ м}^2$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		41

Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками [6, с. 51]:

- діаметр кожуха 159 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 19 шт;
- довжина труб 2 м;
- поверхня теплообміну 2,5 м<sup>2</sup>.

Витрата теплоти, що віддається остудній воді у водяному холодильнику кубового залишку, визначається з рівняння теплового балансу:

$$Q = G_w \cdot C_w' \cdot (t_{xw} - t_{w_{\text{кін}}}) = G_B \cdot C_B \cdot (t_K - t_f)$$

де  $C_w$  – теплоємність кубового залишку при його середній температурі  $(t_{xw} + t_{w_{\text{кін}}})/2$ ;

$t_{w_{\text{кін}}}$  – кінцева температура кубового залишку після холодильника, °C (за умовою завдання).

$$C_w' = \alpha_w \cdot \tilde{N}_A + (1 - \alpha_w) \cdot \tilde{N}_A$$

$$C_A = 0,323 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{°C}} \tilde{N}$$

$$C_A = 0,457 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{°C}} \tilde{N}, \text{ при середній температурі}$$

$$t_{\text{но}} = \frac{t_{xw} + t_{w_{\text{кін}}}}{2} = \frac{109,82 + 21}{2} = 65,41 \text{ °C}; \quad [1, \text{ с. 562}]; \text{ таблиця Б.7 Додатка.}$$

$$C_w' = 0,015 \cdot 0,323 + (1 - 0,015) \cdot 0,457 = 0,455 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{°C}} = 1906,45 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$$

$$Q = \frac{3020,73}{3600} \cdot 1906,45 \cdot (109,82 - 21) = 142084 \text{ Вт}$$

Витрата остудної води при нагріванні її на 15 °C в холодильнику кубового залишку:

$$G_A = \frac{Q}{\tilde{N}_A \cdot (t_e - t_i)} = \frac{142084}{4190 \cdot (27 - 12)} = 2,26 \text{ м}^3/\text{с}$$

Середня різниця температур при протиточній схеми руху теплоносіїв:

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

109,82 °C → 21 °C

27 °C ← 12 °C

Більша різниця температур:

$$\Delta t_a = 109,82 - 27 = 82,82 \text{ } ^\circ\text{N}$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_i = 21 - 12 = 9 \text{ } ^\circ\text{N}$$

Так як  $\frac{\Delta t_a}{\Delta t_i} = \frac{82,82}{9} = 9,2 > 2$ , то середню різницю температур визначаємо

$$\Delta t_{\text{нб}} = \frac{\Delta t_a - \Delta t_i}{\ln(\Delta t_a / \Delta t_i)}$$

$$\Delta t_{\text{нб}} = \frac{82,82 - 9}{\ln(82,82 / 9)} = 33,26 \text{ } ^\circ\text{N}$$

При орієнтовному значенні  $K=400 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  [6, с. 47], поверхня теплообміну холодильника кубового залишку складе:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{нб}}} = \frac{142084}{400 \cdot 33,26} = 10,68 \text{ м}^2$$

Приймаємо двоходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками [6, с. 51]:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 90 шт;
- довжина труб 2 м;
- поверхня теплообміну 11 м<sup>2</sup>.

#### 4.8.4 Кип'ятильник (випарник)

Кількість теплоти  $Q_K$ , яке треба подати в куб колони, визначається з рівняння теплового балансу колони:

$$Q_{\dot{E}} = Q_A + G_D \cdot C_D \cdot t_{xp} + G_W \cdot C_W \cdot t_{xw} - G_F \cdot C_F \cdot t_{xf} + Q_{\text{нб}}$$

Теплові втрати приймаємо 3% від корисно витраченої теплоти. Питомі теплоємності взяті відповідно при  $t_{xp}=84,06 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $t_{xf}=96,14 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $t_{xw}=109,82 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		



$$C_p = \alpha_D \cdot \tilde{N}_A + (1 - \alpha_D) \cdot \tilde{N}_A = 0,98 \cdot 0,343 + (1 - 0,98) \cdot 0,477 = 0,346 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{м}^3} = 1449,74 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{м}^3}$$

$$C_F = \alpha_F \cdot \tilde{N}_A + (1 - \alpha_F) \cdot \tilde{N}_A = 0,45 \cdot 0,357 + (1 - 0,45) \cdot 0,49 = 0,43 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{м}^3} = 1801,7 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{м}^3}$$

$$C_w = \alpha_w \cdot \tilde{N}_A + (1 - \alpha_w) \cdot \tilde{N}_A = 0,015 \cdot 0,371 + (1 - 0,015) \cdot 0,499 = 0,497 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{м}^3} = 2082,8 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с} \cdot \text{м}^3}$$

$$Q_{\dot{e}} = 1,03 \cdot (7,96 \cdot 10^5 + \frac{2479,27}{3600} \cdot 1449,74 \cdot 84,06 + \frac{3020,73}{3600} \cdot 2082,8 \cdot 109,82 - \frac{5500}{3600} \cdot 1801,7 \cdot 96,14) = 8,31 \cdot 10^5 \text{ Вт}$$

Витрата грійучої пари при  $P = 5,5 \text{ кгс/см}^2$ :

$$G_{\text{а.і}} = \frac{Q_{\dot{e}}}{r} = \frac{8,31 \cdot 10^5}{2106 \cdot 10^3} = 0,39 \text{ т/год}$$

Середня різниця температур дорівнює різниці між температурою насиченої пари при  $P=5,5 \text{ кгс/см}^2$  і температурою кипіння кубового залишку:

$$\Delta t_{\text{нб}} = 154,6 - 109,82 = 44,78 \text{ } ^\circ\text{С}$$

При орієнтовно прийнятому коефіцієнті теплопередачі  $K = 2000 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ , [6, с.47] поверхня кип'ятильника складе:

$$F = \frac{Q_{\dot{e}}}{K \cdot \Delta t_{\text{нб}}} = \frac{8,31 \cdot 10^5}{2000 \cdot 44,78} = 9,28 \text{ м}^2$$

Приймаємо одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник з наступними характеристиками [6, с. 51]:

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 20x2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 100 шт;
- довжина труб 1,5 м;
- поверхня теплообміну 9,5 м<sup>2</sup>.

#### 4.9 Розрахунок та вибір ємностей установки

Приймають, що установка повинна безперервно роботи протягом  $\tau=6$  годин=21600 с, а наповненість ємностей повинна складати 80% від їх повного об'єму ( $K=0,8$ ).

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

#### 4.9.1 Ємність вихідної суміші

$$V = \frac{G_F \cdot \tau}{K \cdot \rho_{\text{о нăо}}^{20}},$$

де  $G_F$  – продуктивність по вихідній суміші,  $G_F = 1,527 \text{ єă/ñ}$

$\rho_A$  –  $\rho_A = 1254 \text{ кг/м}^3$  – густина дихлоретану при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\rho_B$  –  $\rho_B = 866 \text{ кг/м}^3$  – густина толуолу при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$\rho_{\text{о нăо}}^{20} = \frac{\rho_A \cdot \rho_A}{\delta_F \cdot \rho_B + (1 - x_F) \cdot \rho_A}$$

$$\rho_{\text{о нăо}}^{20} = \frac{1254 \cdot 866}{0,45 \cdot 866 + (1 - 0,45) \cdot 1254} = 1006 \text{ єă/ñ}^3$$

$$V = \frac{1,527 \cdot 21600}{0,8 \cdot 1006} = 40,98 \text{ ì}^2$$

Вибираємо ємність з каталогу [24] ГЭЭ-40-0,6-1-К-0,7.

#### 4.9.2 Ємність дистилляту

$$V = \frac{G_D \cdot \tau}{K \cdot \rho_A^{20}},$$

де  $G_D$  – продуктивність по дистилляту,  $G_D = 0,689 \text{ єă/ñ}$

$$V = \frac{0,689 \cdot 21600}{0,8 \cdot 1254} = 14,83 \text{ ì}^3$$

Вибираємо ємність з каталогу [24] ГЭЭ-16-0,6-1-К-0,7

#### 4.9.3 Ємність кубового залишку

$$V = \frac{G_W \cdot \tau}{K \cdot \rho_B^{20}},$$

де  $G_W$  – продуктивність по кубовому залишку,  $G_W = 0,839 \text{ єă/ñ}$

$$V = \frac{0,839 \cdot 21600}{0,8 \cdot 866} = 26,2 \text{ ì}^3$$

Вибираємо ємність з каталогу [24] ГЭЭ-40-0,6-1-К-0,7.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		45

## 5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ДЕФЛЕГМАТОРА

### 5.1 Початкові дані:

Наружний діаметр кожуха $D$ , мм	325
Довжина теплообмінних труб $l$ , мм	4000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби $d_o$ , мм	20
Товщина стінки труби $S_o$ , мм	2
Число ходів по трубах	1
Розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа	1,6
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа	1,6
Розрахункова температура труб, °С	100
Розрахункова температура кожуха, °С	100
Матеріал кожуха	12X18H10T
Матеріал розподільної камери	Ст3сп
Матеріал теплообмінних труб	12X18H10T
Матеріал трубної решітки	12X18H10T
Матеріал перегородок	12X18H10T
Матеріал прокладок розподільної камери	пароніт
Група теплообмінника	1

### 5.2 Визначення розрахункових параметрів

#### 5.2.1 Розрахункова температура

Розрахункову температуру розподільної камери  $t_{\text{eai}}$ , °С, визначаємо за формулою:

$$t_{\text{eai}} = 2 \cdot t_o - t_e \quad (5.1)$$

$$t_{\text{eai}} = 2 \cdot 100 - 100 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункову температуру ізольованих фланців визначаємо за формулою:

$$t_o = t_{\text{eai}}, \quad (5.2)$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Розрахункову температуру ізольованих апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери теплообмінника приймаємо рівній температурі розподільної камери:

$$t_{\delta} = t_{\text{eai}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{N}.$$

Розрахункову температуру ізольованих фланців штуцерів міжтрубного простору приймаємо рівній температурі середовища міжтрубного простору (кожуха):

$$t_{\delta} = t_{\text{e}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{N}.$$

Розрахункову температуру болтів для ізольованих фланцевих з'єднань визначаємо за формулою:

$$t_{\text{a}} = 0,97 \cdot t_{\text{eai}} \quad (5.3)$$

Розрахункова температура болтів корпусних фланцевих з'єднань і фланців штуцерів розподільної камери:

$$t_{\text{a}} = 0,97 \cdot t_{\text{eai}}$$

$$t_{\text{a}} = 0,97 \cdot 100 = 97^{\circ}\text{C}$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

$$t_{\text{a}} = 0,97 \cdot t_{\text{e}}$$

$$t_{\text{a}} = 0,97 \cdot 100 = 97^{\circ}\text{C}$$

### 5.2.2 Допустимі напружини

Допустимі напружини при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  і при температурі  $20^{\circ}\text{C}$   $[\sigma]_{20}$ , МПа, для елементів апарату приведені в таблиці 5.1.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Таблиця 5.1 – Допустимі напружини деталей теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напружини, МПа		Відношення допустимих напружин, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20 °С $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі $[\sigma]$	
Кожух	12X18H10T	184	174	1,057
Розподільна камера	Ст3сп	154	149	1,034
Теплообмінні труби	12X18H10T	184	174	1,057
Трубна решітка	12X18H10T	184	174	1,057
Перегородки	12X18H10T	184	174	1,067
Фланці розподільної камери	Ст3сп	154	149	1,034
Фланці кожуха	Ст3сп	154	149	1,034
Болти кріплення фланців штуцерів міжтрубного простору	20X13	195	182	1,071
Болти і гайки кріплення фланців штуцерів трубного простору	Сталь 40	130	126	1,032

Примітка. Допустимі напружини при температурі 20°С і розрахунковій температурі визначені методом лінійної інтерполяції за [21].

### 5.2.3 Коефіцієнти міцності зварних швів

Трубний простір теплообмінника по розрахунковому тиску, температурі і характеру робочого середовища відноситься до 1 групи апаратів [21], для якої довжина контрольованих швів складає 100% від їх спільної довжини. Для стикових швів з двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичною зваркою, коефіцієнт міцності зварних швів трубного простору приймаємо рівним

$$\varphi_p = 1$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		48

#### 5.2.4 Робочий, розрахунковий і пробний тиск

Умовний тиск в теплообміннику згідно завданню в трубному просторі  $P_{тр}=1,6$ МПа, у міжтрубному просторі  $P_{к}=1,6$ МПа.

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою

$$P = \max \{ |P_{\delta}|; |P_{\epsilon}|; |P_{\delta} - P_{\epsilon}| \}, \quad (5.4)$$

де  $P_{\delta}$  - розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа;

$P_{\epsilon}$  - розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа.

$$P = \max \{ 1,6; 1,6; |1,6 - 1,6| \} = 1,6 \text{ МПа}$$

Під пробним тиском в апараті слід приймати тиск, при якому проводиться випробування апарату на міцність і герметичність. Випробування сталевих зварних апаратів повинно проводитися пробним тиском, який визначається за формулою

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}, \quad (5.5)$$

де  $P$  – розрахунковий тиск в трубному і міжтрубному просторах відповідно,

$$P_{т}=1,6 \text{ МПа}, \quad P_{к}=1,6 \text{ МПа};$$

Відношення  $[\sigma]_{20}/[\sigma]$  приймаємо по тому з використовуваних матеріалів елементів кожної порожнини апарату, для якого воно є найменшим.

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружин  $[\sigma]_{20}/[\sigma]=1,032$ , пробний тиск складає

$$P_{пр \delta} = 1,25 P_{\delta} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot \frac{130}{126} = 2,06 \text{ МПа} ;$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника

$$P_{г \delta} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H_{\text{в}} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,309 \cdot 10^{-6} = 0,003 \text{ МПа} ; \quad (5.6)$$

де  $H_{\text{в}}$  - висота стовпа води в трубному просторі,  $H_{\text{в}}=0,309$ м;

Гідростатичний тиск при випробуванні

$$P_{г \delta} = 0,003 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{пр \delta} = 0,05 \cdot 2,06 = 0,1 \text{ МПа} ; \quad (5.7)$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		

складає менше 5% від пробного, тому за розрахунковий тиск в умовах випробування приймаємо пробний тиск.

$$P_{\hat{a}\hat{o}} = P_{\text{іо}\hat{o}} = 2,06 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{\hat{a}\hat{o}} = 2,06 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_{\hat{o}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot \frac{130}{126} = 2,2 \text{ МПа} \quad (5.8)$$

виконується, тому розрахунок елементів трубного простору в умовах гідравлічного випробування проводити не потрібно.

Для міжтрубного простору при відношенні допустимих напружин  $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,057$  пробний тиск складає

$$P_{\text{іо}\hat{e}} = 1,25 P_{\hat{e}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 1,057 = 2,1 \text{ МПа} ;$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{\hat{a}\hat{a}\hat{e}} = \rho_{\hat{a}} \cdot g \cdot H_{\hat{e}} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,596 \cdot 10^{-6} = 0,006 \text{ МПа} \leq \\ \leq 0,05 P_{\text{іо}\hat{e}} = 0,05 \cdot 2,1 = 0,1 \text{ МПа}$$

складає менше 5% від пробного, тому за розрахунковий тиск в умовах випробування приймаємо пробний тиск

$$P_{\hat{e}\hat{e}} = P_{\text{іо}\hat{e}} = 2,1 \text{ МПа} ;$$

Умова

$$P_{\hat{a}\hat{e}} = 2,1 \text{ МПа} \leq 1,35 P_{\hat{e}} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot 1,057 = 2,3 \text{ МПа}$$

виконується, тому розрахунок елементів міжтрубного простору в умовах гідравлічного випробування проводити не потрібно.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

### 5.2.5 Додатки до розрахункової товщини конструктивних елементів

Сума додатків до розрахункової товщини трубних решіток складає:

$$\tilde{N}_p = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5.9)$$

де  $C_1$  – додаток для компенсації корозії і ерозії, мм;

$C_2$  – додаток для компенсації мінусового допуску, мм;

Додаток для компенсації корозії і ерозії  $C_1$  визначається за формулою

$$C_1 = \Pi \cdot \tau + C_3, \quad (5.10)$$

де  $\Pi$  – швидкість проникнення корозії,  $\Pi=0,05$  мм/рік,

$\tau$  – термін служби апарата,  $\tau=20$  років,

$C_3$  – додаток для компенсації ерозії,  $C_3=0$ .

$$C_1 = 0,05 \cdot 20 + 0 = 1 \text{ мм},$$

Додаток  $C_2$  приймається по стандартах на прокат залежно від товщини листа за таблицею 6 [21],  $C_2=0,8$  мм.

Технологічна додаток  $C_3$  передбачає компенсацію стоншування стінки елемента апарата при технологічних операціях – витяжці, штампуванні, гнутті і т. д. Приймаємо  $C_3=0$ .

$$\text{Тоді } C = 1 + 0,8 + 0 = 1,8 \text{ мм.}$$

Для сталевих безшовних труб додаток для компенсації мінусового допуску приймаємо рівною 15% від товщини стінки труби.

Суму додатків до розрахункової товщини стінки визначаємо за формулою:

$$C_2 = 0,15 \cdot S_1 \quad (5.11)$$

$$C_2 = 0,15 \cdot 8 = 1,2 \text{ мм}$$

Технологічна додаток  $C_3$  передбачає компенсацію стоншування стінки елемента апарата при технологічних операціях – витяжці, штампуванні, гнутті і т. д. Приймаємо  $C_3=0$ .

$$\text{Тоді } C = 1 + 1,2 + 0 = 2,2 \text{ мм.}$$

Сума додатків до розрахункової товщини еліптичного днища

Додаток  $C_2$  приймається по стандартах на прокат залежно від товщини листа за таблицею 6 [21],  $C_2=0,5$  мм.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		51



Тоді  $C=1+0,5+0=1,5$  мм.

### 5.3 Розрахунок товщини стінки кожуха

#### 5.3.1 Розрахунок циліндричної обичайки кожуха

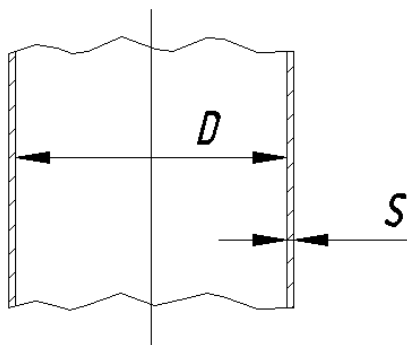


Рисунок 5.1 - Циліндрична обичайка

Розрахункова товщина стінки апарата визначається за формулою

$$S_p = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \phi_p - P_k}, \quad (5.12)$$

де  $P_k$  – розрахунковий внутрішній тиск в міжтрубному просторі теплообмінника,  $P=1,6$  МПа;

$D$  – внутрішній діаметр обичайки (кожуха),  $D=309$  мм;

$[\sigma]_k$  - допустима напружина для матеріалу обичайки кожуха при розрахунковій температурі,  $[\sigma]_k = 174$  МПа ;

$\phi_p$  – коефіцієнт міцності подовжніх швів,  $\phi_p=1$  (для труб).

$$S_\delta = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 174 \cdot 1 - 1,6} = 1,43 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою

$$S \geq S_p + C, \quad (5.13)$$

$$S \geq 1,43 + 2,2 = 3,63 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха теплообмінника приймається  $S=8$  мм.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення  $S$  розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (5.14)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 174 \cdot 1,0 \cdot (8 - 2,2)}{309 + (8 - 2,2)} = 6,4 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_k \leq [P], \quad (5.15)$$

1,6 МПа < 6,4 МПа, умова виконується.

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовуються при відношенні товщини стінки до діаметру

$$\frac{S - C}{D} \leq 0,1, \quad (5.16)$$

$$\frac{8 - 2,2}{309} = 0,02 < 0,1,$$

умова виконується, отже, формули застосовуються.

## 5.4 Розрахунок розподільної камери

### 5.4.1 Розрахунок товщини стінки еліптичного днища камери

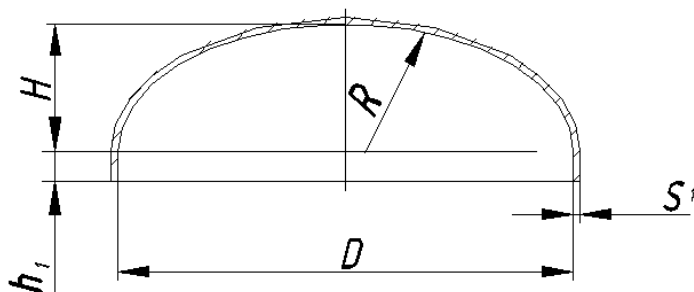


Рисунок 5.2 - Еліптичне днище

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		

Розрахункова товщина стінки днища камери визначається за формулою

$$S_{1p} = \frac{P_{\tau} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_{\tau} \cdot \varphi_p - 0,5 \cdot P_{\tau}}, \quad (5.17)$$

де  $P_{\tau}$  – розрахунковий внутрішній надлишковий тиск в розподільній камері теплообмінника,  $P=1,6$ МПа;

$R=D$  – для стандартних еліптичних днищ з  $H=0,25D$ ;

$\varphi_p$  - коефіцієнт міцності зварних швів,  $\varphi_p=1$ ,

$[\sigma]_{\tau}$  - допустима напружина для матеріалу днища при розрахунковій температурі,  $[\sigma]_{\delta} = 149$  МПа ;

$$S_{1\delta} = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 149 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,6} = 1,7 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки днища визначається за формулою (5.13)

$$S_1 \geq 1,7 + 1,5 = 3,2 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки днища камери  $S_1=4$  мм.

Визначення допустимого тиску

Для отриманого значення  $S_1$  розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{p.k} \cdot \varphi_p \cdot (S_1 - C)}{R + 0,5 \cdot (S_1 - C)}, \quad (5.18)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 149 \cdot 1 \cdot (4 - 1,5)}{309 + 0,5 \cdot (4 - 1,5)} = 2,4 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова (5.15)

$$1,6 \text{ МПа} < 2,4 \text{ МПа}, \text{ умова виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули для еліптичних днищ застосовуються при виконанні умов

$$0,002 \leq \frac{S_1 - C}{D} \leq 0,1, \quad (5.19)$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

$$0,2 \leq \frac{H}{D} \leq 0,5, \quad (5.20)$$

де  $H$  – висота опуклої частини днища,  $H=77$  мм, [23].

$$0,002 \leq \frac{4-1,5}{309} = 0,008 \leq 0,1,$$

$$0,2 \leq \frac{77}{309} = 0,25 \leq 0,5, \quad \text{умови виконуються, отже, формули}$$

застосовуються.

### 5.5 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів теплообмінних апаратів з компенсатором на кожусі

Прийнята товщина трубної решітки повинна забезпечувати можливість кріплення труб в решітці. Для решіток, у яких кріплення теплообмінних труб здійснюється розвальцюванням або зваренням з наступним розвальцюванням, прийнята товщина решітки повинна забезпечувати міцність та гарантований тиск герметизації вальцьованого з'єднання, а також нежолоблення решітки при розвальцюванні труб. Мінімальна товщина трубних решіток прийнята з цих міркувань:

$$S_p = 24i$$

Виконавча товщина трубної решітки  $S_p$ , мм, має задовольняти умові міцності безтрубної зони

$$S_p \geq S_{pp} + C_p, \quad (5.21)$$

де  $S_{pp}$  – розрахункова товщина трубної решітки,

$C_p$  – сума добавок до розрахункової товщини решітки, мм.

Розрахункову товщину трубних решіток за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо за формулою

$$S_{p0} = 0,5 D_a \sqrt{D/[\sigma]_0} \quad (5.22)$$

$$S_{p0} = 0,5 \cdot 35 \sqrt{1,6/174} = 1,7i$$

де  $D_e$  – діаметр кола, вписаного в максимальну безтрубну зону

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

визначається конструктивно

$$S_p \geq S_{pp} + C_p \quad 24 \geq 1,7 + 1,8 = 3,5 \text{ и} \quad - \text{ умова виконується}$$

## 5.6 Розрахунок лінзового компенсатора

### 5.6.1 Умови застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовні, якщо виконуються умови:

$$\frac{S_{\epsilon}}{d_i} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_{\epsilon}}{d_i} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_{\epsilon} - d_i} \leq 0,4 \quad (5.23)$$

де  $S_{\epsilon} = 4 \text{ мм}$  - товщина стінки лінзового компенсатора;  
 $d_i = 325 \text{ мм}$  - зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора;  
 $D_{\epsilon} = 475 \text{ мм}$  - зовнішній діаметр гребеня хвилі компенсатора;  
 $r = 14 \text{ мм}$  - внутрішній радіус тороїдального переходу в верхній та нижній частинах хвилі компенсатора

$$\frac{S_{\epsilon}}{d_i} = \frac{4}{325} = 0,012 < 0,035$$
$$1,08 < \frac{D_{\epsilon}}{d_i} = \frac{475}{325} = 1,46 < 3,00$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_{\epsilon} - d_i} = \frac{2 \cdot 14}{475 - 325} = 0,187 < 0,4$$

### 5.6.2 Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_1 = d_i - S_{\epsilon} \quad (5.24)$$

$$d_1 = 325 - 4 = 321 \text{ и}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_2 = D_{\epsilon} - S_{\epsilon} \quad (5.25)$$

$$d_2 = 475 - 4 = 471 \text{ и}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$r_s = 0,5 (2r + S_{\epsilon}) \quad (5.26)$$

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot 14 + 4) = 16 \text{ и}$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Допоміжну величину впливу переходу розраховують за формулою

$$\rho_{\varepsilon} = 2 - 100 \frac{r_s}{d_1 + d_2} \quad (5.27)$$

$$\rho_{\varepsilon} = 2 - 100 \cdot \frac{16}{321 + 471} = -0,02 \text{ іі}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$b_{\varepsilon} = 0,5 (d_2 - d_1 + \rho_{\varepsilon} \cdot r_s) \quad (5.28)$$

$$b_{\varepsilon} = 0,5 \cdot (471 - 321 + (-0,02) \cdot 16) = 74,8 \text{ іі}$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора визначають за формулою

$$R_o = 0,25 (d_2 + d_1 - 2 b_{\varepsilon}) \quad (5.29)$$

$$R_o = 0,25 \cdot (471 + 321 - 2 \cdot 74,8) = 160,6 \text{ іі}$$

Середній діаметр хвилі  $d_{cp}$ , мм, визначають за формулою

$$d_{\text{н\ddot{o}}} = 0,5 (d_2 + d_1) \quad (5.30)$$

$$d_{\text{н\ddot{o}}} = 0,5 \cdot (471 + 321) = 396 \text{ іі}$$

Характеристики хвилі визначають за формулами:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 \quad (5.31)$$

$$\xi = \frac{471}{321} - 1 = 0,47$$

$$\eta = \frac{d_2 - d_1}{2 r_s} - 2 \quad (5.32)$$

$$\eta = \frac{471 - 321}{2 \cdot 16} - 2 = 2,69$$

$$\alpha = \frac{S_{\varepsilon}}{d_1} \quad (5.33)$$

$$\alpha = \frac{4}{321} = 0,012$$

$$\lambda = \frac{b_{\varepsilon}}{R_o} \quad (5.34)$$

$$\lambda = \frac{74,8}{160,6} = 0,47$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 r_s}{d_2 - d_1} \quad (5.35)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{471}{321} - \frac{3,2 \cdot 16}{471 - 321} = 2,49$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

### 5.6.3 Розрахунок компенсатора на міцність

Виконавчу товщину стінки компенсатора  $S_{\varepsilon}$ , мм, розраховують за формулою

$$S_{\varepsilon} \geq S_{\varepsilon\delta} + \tilde{N}_{\varepsilon} \quad (5.36)$$

де  $S_{\varepsilon\delta}$  – розрахункова товщина стінки компенсатора, мм;

$C_{\varepsilon}$  – сума добавок до розрахункової товщини стінки компенсатора, мм.

Суму добавок до розрахункової товщини стінки компенсатора при  $S_{\varepsilon}=4,0$  мм приймають рівною не більше 0,8 мм.

Розрахункову товщину стінки компенсатора визначають за формулою

$$S_{\varepsilon\delta} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3/S_4)^4}} \quad (5.37)$$

де

$$S_3 = 0,25 (d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P/[\sigma]_{\varepsilon}} \quad (5.38)$$

$$S_3 = 0,25 \cdot (471 - 321 - 2,49 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1,6}{174}} = 2,6 \text{ и}$$

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{\text{сп}}}{2[\sigma]_{\varepsilon} \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2l_{\varepsilon} + 2,3r_s} \quad (5.39)$$

$$S_4 = \frac{1,6 \cdot 396}{2 \cdot 174 \cdot 1} \cdot \frac{80}{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,74 \text{ и}$$

Позначення в формулах (5.38)-(5.39):

де  $[\sigma]_{\varepsilon}$  – допустима напружина для матеріалу лінзи при розрахунковій температурі, МПа;

$L$  – виконавча довжина компенсатора, мм;

$l_{\varepsilon}$  – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, мм;

$\varphi$  – коефіцієнт міцності подовжнього зварного шва компенсатора.

$$S_{\varepsilon\delta} = 0,74 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (2,6/0,74)^4}} = 2,65 \text{ и}$$

Виконавчу товщину стінки компенсатора розраховують за формулою

$$S_{\varepsilon} \geq S_{\varepsilon\delta} + \tilde{N}_{\varepsilon} \quad (5.40)$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		

$$S_{\varepsilon} = 2,65 + 0,8 = 3,45 \text{ ì}$$

Приймаємо:

$$S_{\varepsilon} = 4 \text{ ì}$$

Допустимий тиск  $[D]_{\varepsilon}$ , МПа, визначають за формулою

$$[P]_{\varepsilon} = \frac{[P]_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_1}{[P]_2}\right)^2}} \quad (5.41)$$

де

$$[P]_1 = 16 \left( \frac{S_{\varepsilon} - \check{N}_{\varepsilon}}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_{\varepsilon} \quad (5.42)$$

$$[D]_1 = 16 \cdot \left( \frac{4 - 0,8}{471 - 321 - 2,49 \cdot 16} \right)^2 \cdot 174 = 2,34 \text{ ìà}$$

$$[P]_2 = \frac{2 [\sigma]_{\varepsilon} \cdot \varphi \cdot (S_{\varepsilon} - C_{\varepsilon}) \cdot d_2 - d_1 + 2 l_{\varepsilon} + 2,3 r_s}{d_{cp} L} \quad (5.43)$$

$$[D]_2 = \frac{2 \cdot 174 \cdot 1 \cdot (4 - 0,8)}{396} \cdot \frac{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{80} = 6,9 \text{ ìà}$$

$$[D]_{\varepsilon} = \frac{2,34}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,34}{6,9}\right)^2}} = 2,2 \text{ ìà}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_{\kappa} \leq [P],$$

1,6 МПа < 2,2 МПа, умова виконується.

#### 5.6.4 Розрахунок числа лінз компенсатора

Різницю у видовженні кожуха і труб в робочих умовах, яку необхідно скомпенсувати, визначаємо за формулою

$$\Delta = l \cdot |[\alpha_{\varepsilon} \cdot (t_{\varepsilon} - t_0) - \alpha_{\delta} \cdot (t_{\delta} - t_0)]| \quad (5.44)$$

де  $\alpha_{\varepsilon}, \alpha_{\delta}$  – коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно кожуха та труб,  $1/^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\varepsilon}, t_{\delta}, t_0$  – температури відповідно кожуха, труб і виготовлення апарата,  $^{\circ}\text{C}$ ,

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		



$(t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C})$

$l$  - довжина труб, мм  $l = 4000$  ì

$$\alpha_{\text{è}} = 16,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

$$\alpha_{\text{ò}} = 16,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

$$\Delta = 4000 \cdot \left[ 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot (84 - 20) - 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot (51 - 20) \right] = 2,2 \text{ мм}$$

За додатком визначаємо компенсуючу здатність однієї лінзи компенсатора при загальному числі циклів навантаження  $N = 10^3$ ,  $\Delta_{\text{è}} = 3$  мм

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою

$$n_{\text{è}} = \frac{\Delta}{\Delta_{\text{è}}} = \frac{2,2}{3} = 0,73$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа,

$$n_{\text{è}} = 1$$

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## 6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕФЛЕГМАТОРА

Технологічний процес виготовлення теплообмінного апарату в загальному випадку складається з отримання заготівель, механічної обробки заготівель до розмірів готових деталей і зборки з деталей вузлів (складальних одиниць) і усього апарату в цілому.

### 6.1 Виготовлення основних елементів дефлегматора

#### 6.1.1 Виготовлення обичайок

Листовий метал, призначений для виготовлення корпусів, піддають попередній обробці, що полягає в правці і розділовому різанні листів, що полегшує їх транспортування і наступні операції обробки.

Потім листи ріжуть і обробляють кромки під зварювання.

Вальцювання обичайок. Листи, призначені для вальцювання, не повинні мати розшарувань, тріщин і неметалевих включень. Листи невеликої товщини згинають в холодному стані. Листи товщиною більше 1/40 внутрішнього діаметру обичайки згинають на вальцях в гарячому стані, а після холодного гнуття піддають відпалу для зняття залишкового напруження.

Збирання і зварювання стиків після вальцювання листів проводиться на спеціальних складальних стендах. Збирання циліндричної частини обичайки полягає в поєднанні подовжніх кромки відповідно до технічних вимог до стиків під зварювання і в прихватці цих кромки за допомогою зварювання в декількох місцях (з довжиною шва в 10—40 мм через кожні 200—400 мм). Зазвичай при збиранні застосовують натяжні і кантовательні пристосування. Зміщення подовжніх кромки листів однакової товщини не повинне перевищувати 10 % товщини стінки, але не більше 3 мм. Овальність підготовленої до зварювання обичайки в будь-якому поперечному перерізі не повинна перевищувати 1 % номінального діаметру.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Для встановлення на апараті штуцерів, бобишок і гільз, а також спеціальних люків, в готових зварних обичайках вирізають отвори по розмітці, виконаній на розгортці обичайки. Отвори невеликого діаметру виконують на повний діаметр свердлом або фрезою. Отвори великих діаметрів розсвердлюють з попереднім центруванням малого діаметру 14—16 мм. При неможливості вирізки отворів свердлами і фрезами застосовують пристосування із закріпленими в ньому двома різцями, встановленими на відстані, рівному діаметру отвору один від одного. Великі отвори в листах вирізають газовим або плазмено-дуговим різанням з наступним очищенням кромки абразивним кругом.

Після свердління і обробки отвір очищають від задирок із зовнішньої і внутрішньої сторін за допомогою пневматичних шлифувально-зачисних інструментів.

#### 6.1.2 Виготовлення еліптичних днищ

Сферичні і еліптичні днища слід виготовляти по можливості з одного листа. Сферична або еліптична форма надається заготовленим для днищ листам штампуванням в гарячому або в холодному стані. Лист, призначений для виготовлення днища, заздалегідь розмічають. Заготівля під днище є кругом.

Еліптичні днища для посудин і апаратів стандартизовані і їх можна підібрати за ГОСТ 6533.

Невеликі днища з листів товщиною до 4 мм штампують на пресах в холодному стані. Великі днища з листів товщиною більше 4 мм штампують в гарячому стані на гідравлічних пресах потужністю 750-1000т і більше. Заготівлю нагрівають заздалегідь до температури 1050—1100°C з таким розрахунком, щоб штампування закінчувалося при температурі 880—900°C (температура нормалізації) за один подвійний хід пресу. Нагріту заготівлю укладають на протяжне кільце штампу. Пуансон штампу, що має форму днища і укріплений на рухливій траверсі пресу, повільно опускаючись, поступово протягує заготівлю через протяжне кільце, формуючи днище. Після досягнення

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		62

пуансоном крайнього нижнього положення зкидач знімає з нього готове днище, а звільнений пуансон переміщується в крайнє верхнє положення. Готове днище витягають з-під пресу краном або лебідкою.

### 6.1.3 Виготовлення компенсатора

У теплообмінних апаратах часто застосовують лінзові компенсатори для компенсації температурних розширень, які вварюються між трубною дошкою і корпусом або між обичайками корпуса. Компенсатори можуть бути тарілчастої, тороїдальної або трапецеїдальної форми. Лінза компенсатора виготовляється з двох половин, що сполучається електрозварюванням. Кільцеподібні заготівлі, призначені для виготовлення напівлінз, вирізають із сталевого листа. За наявності пресу достатньої потужності половинки лінз можуть бути виконані із заготівель шляхом холодного штампування. За відсутності пресу штампування може бути замінене відбортовкою (обкаткою) кромки на карусельному верстаті.

### 6.1.4 Збирання і зварювання корпуса

Збирання і зварювання кільцевих стиків. На корпусах апаратів, циліндрична частина яких складається з декількох обичайок, кільцеві стики утворюються при збиранні обичайок між собою і при збиранні циліндричної частини з кришками і днищами. Збирання під зварювання кільцевих стиків аналогічне збиранню подовжніх стиків. При виконанні зварних стиків між елементами різної товщини необхідно передбачити плавний перехід від одного елемента до іншого шляхом поступового стоншування товщого елемента на довжині, рівній або більшій, ніж величина чотирикратної різниці товщини елементів, що стикаються. При різниці товщини елементів, що сполучаються, не більше 5 мм і товщині листа не менше 10 мм допускаються стикові шви без попереднього стоншування товстої стінки, при цьому конфігурація швів повинна забезпечувати плавний перехід від товстого листа до тонкого. Перекіс подовжніх осей обичайок, що стикаються, допускається не більше 2 мм на 1 м довжини.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

### 6.1.5 Кріплення труб в трубних решітках

Закріплення трубок в трубних решітках теплообмінних апаратів найчастіше реалізується за рахунок розвальцьовування їх кінців, оскільки при цьому способі закріплення можна замінювати трубки у разі появи в них дефектів. Приварювання трубок застосовується в тих випадках, коли в теплообмінному апараті встановлюють сталеві трубки і потрібна підвищена герметичність.

Розвальцьовування є найбільш поширеним способом кріплення трубок. Застосовується вальцювання з трьома конічними роликками, встановленими під кутом  $120^\circ$  один до одного по периметру вальцювання, і центральним нажимним конусом (веретеном). Вальцювання зазвичай мають електричний або пневматичний привід.

Ефективнішим, ніж звичайне вальцювання, являється спосіб, заснований на застосуванні кільцевих рельєфів в отворах трубної дошки. Для формування мікрорельєфів методом ротаційного викочування застосовують спеціальний інструмент, основними конструктивними елементами якого є конічне веретено, сепаратор, муфта і кульки. Інструмент встановлюється у свердлувальний верстат або в ручну машину з пневмо- або електроприводом. Момент завершення процесу формоутворення контролюється по осьовому переміщенню конічного веретена.

### Зварювання труб з трубними решітками

Перед зварюванням труб з трубними решітками кінці труб, а також лицьову поверхню решіток і отвору в трубних решітках слід зачистити до чистого металу від іржі, бруду, масла і ретельно знежирити.

Діаметральний зазор між трубними решітками і трубою рекомендується не більше 0,3 мм. Для забезпечення цієї вимоги рекомендується конічне розвальцьовування труби перед зварюванням до торкання зовнішньої поверхні труби з краєм трубного отвору .

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## 6.2 Збирання дефлегматора

Деталі і вузли дефлегматора, підготовлені до збирання, направляють після проходження технічного контролю на складальну ділянку. Збирання теплообмінних апаратів впроваджується відповідно до технологічної схеми, розробленої в процесі проектування апарату. Технологічна схема збирання може бути заснована на операціях збирання як окремих деталей у вузлів, так і укрупнених вузлів апарату.

Для зручності складальних робіт і відповідності послідовності збирання апарату технологічній карті деталі і вузли часто маркують умовними позначеннями в тому порядку, в якому їх збирають. Для скорочення термінів і підвищення продуктивності праці ділянки збирання обладнані підйомно-транспортними пристроями, пристосуваннями для обертання, кантування, закріплення, упору, прихоплення, виміру, контролю і випробування вузлів і виробів, а також мають необхідні електричні і пневматичні інструменти.

Після завершення збирання на заводі-виготівнику здійснюється гідравлічне випробування апарату з метою виявлення дефектів виготовлення і збирання апарату, а також герметичності трубної системи і апарату в цілому. Гідравлічні випробування при проведенні приймального контролю повинні здійснюватися відповідно до вимог "Правил устрою і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском", що не перевищує вказаного в складальному або монтажному кресленні. При проведенні випробувань трубний і міжтрубний простір апарату випробовується окремо. Виявлені дефекти усуваються. Потім проводиться остаточне збирання теплообмінного апарату.

## 6.3 Випробування після виготовлення

Після виготовлення дефлегматора перед здачею його в експлуатацію необхідно зробити випробування на щільність і міцність.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

Гідровипробування проводиться водою з температурою не нижче +5°C і не вище +40°C. При заповненні теплообмінника водою, повітря повинне бути цілком вилучене.

Тиск при випробуванні повинний контролюватися двома манометрами.

Тиск у випробовуваному теплообміннику повинний підвищуватися плавно, використання стиснутого повітря або газу не допускається.

Мінімальну величину пробного тиску  $P_{пр}$  при гідравлічному випробуванні підігрівача, а також трубопроводів в межах теплообмінника приймають:

$$P_{пр} = 1,25 \cdot P \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}$$

де  $P$  – розрахунковий тиск, МПа

$[\sigma]^{20}$  - допустиме напруження матеріалу апарата при 20°C, МПа

$[\sigma]^t$  - допустиме напруження матеріалу апарата при розрахунковій температурі, МПа

Дефлегматор витримують в перебігу 10 хвилин, після чого приступають до огляду корпусу. Випробування на щільність повинно бути проведене під безпосереднім спостереженням керівника ремонтних робіт. Якщо в перебігу 10хвилин не виявлено течі, немає падіння тиску, не виявлено видимих розривів, то апарат вважається таким, що витримав випробування і здається в експлуатацію. Об'єм випробувань і оформлення документації за наслідками випробувань проводиться в строгій відповідності з вимогами інструкцій по експлуатації ремонтного устаткування, технічних умов, що діють, і інструкцій на ремонт устаткування, включаючи рекомендації заводів - виготівників.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## 7 РЕМОНТ ДЕФЛЕГМАТОРА

### 7.1 Методи виконання планово-попереджувальних ремонтів

Класифікацію ремонту проводять по одній з наступних розмежувальних ознак: плануванню, періодичності проведення, об'єму робіт, що проводяться, мірі регламентації робіт і т. д.

Різні види ремонту можна проводити за допомогою різних методів, т. є. сукупності технологічних і організаційних правил виконання ремонтних операцій.

У практиці розрізняють наступні види ремонту (згідно ГОСТ 18322—78).

Плановий - ремонт, постановка устаткування на який здійснюється відповідно до вимог нормативно-технічної документації.

Неплановий (аварійний) - ремонт, постановка на який здійснюється без попереднього призначення, виконується при раптовій відмові апарату.

Поточний - ремонт, що виконується для забезпечення або відновлення працездатності обладнання і полягає в заміні і (чи) відновленні окремих частин.

Середній - ремонт, що виконується для відновлення справності і часткового відновлення ресурсу обладнання із заміною або відновленням складових частин обмеженої номенклатури і контролем технічного стану складових частин, що виконується в об'ємі, встановленому в нормативно-технічної документації.

Капітальний - ремонт, що виконується для відновлення справності і повного (чи близького до повного) відновлення ресурсу обладнання із заміною або відновленням будь-яких його частин, включаючи базові.

Агрегатний - метод ремонту, при якому несправні агрегати замінюються новими або заздалегідь відремонтованими. Під агрегатом розуміється складальна одиниця, що має властивості повної взаємозамінюваності, незалежного збирання і самостійного виконання певної функції у виробках різного призначення.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		



Ремонт по технічному стану - метод ремонту, при якому перелік операцій визначається за результатами контролю технічного стану і діагностування обладнання.

Плановий ремонт обладнання заснований на вивченні і аналізі ресурсів роботи деталей і вузлів зі встановленням технічно і економічно обгрунтованих норм і нормативів. Плановий ремонт передбачає вивід в ремонт обладнання з урахуванням вимог діючих в галузі нормативів.

У плановому порядку виконується капітальний, середній і поточний ремонти. Вид ремонту допоміжного (теплообмінного) обладнання може відрізнитися від виду ремонту основного обладнання (турбоустановки), але виконується в терміни, що визначені ремонтом основного обладнання.

Планування ремонту обладнання включає розробку перспективних графіків ремонту і модернізації основного обладнання; річних графіків ремонту основного обладнання; річних і місячних графіків ремонту допоміжного і загального устаткування.

Річний графік ремонту основного обладнання, як правило, встановлює календарний час виводу в ремонт кожної одиниці обладнання, тривалість ремонту і планований об'єм робіт по виконавцях. Річний графік розробляється на планований рік відповідно до затвердженого перспективного графіку з урахуванням технічного стану обладнання. При цьому в річний графік можуть бути внесені обгрунтовані зміни позицій перспективного графіку.

Поточний ремонт теплообмінних апаратів проводять для контролю і підтримки обладнання в працездатному стані.

Основні операції, що виконуються при поточному ремонті теплообмінних апаратів, включають:

- зовнішній огляд апарату з виправленням зовнішніх дефектів ізоляції, заміною болтів і шпильок, підтяжкою болтових і різьбових з'єднань;
- перевірку стану арматури і заміну або ремонт її;
- огляд і наладку контрольно-вимірювальної апаратури;

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

- перевірку і наладку конденсатовідвідників і дренажів;
- огляд і оцінку стану внутрішніх поверхонь апарату.

Середній ремонт теплообмінного апарату передбачає ревізію окремих вузлів, а також відновлення і заміну зношених деталей і пов'язаний, як правило, з розбиранням апарату. До основних операцій, що виконуються при середньому ремонті, відносяться:

- роботи, що передбачаються поточним ремонтом;
- заміна арматури з перевіркою запобіжних клапанів на гідравлічному пресі;
- перевірка герметичності трубної системи і корпусу і усунення ушкоджень підвальцюванням, заваркою або відглушенням окремих трубок;
- ревізія роз'ємних різьбових, сальникових і фланцевих з'єднань;
- ремонт антикорозійних покриттів;
- ремонт ізоляції і забарвлення поверхонь апарату.

Капітальний ремонт має на меті відновлення працездатності обладнання по можливості до початкового технічного стану. При капітальному ремонті проводиться повне розбирання апарату з ремонтом окремих деталей і вузлів на місці, в ремонтних цехах або підприємствах. Капітальний ремонт робиться по спеціально розробленому плану і забезпечується необхідними документами і матеріалами (дефектними відомостями, кресленнями, запасними частинами, інструментами, пристосуваннями, підйомно-транспортним і такелажним устаткуванням), а також робочою силою і ремонтним майданчиком. При капітальному ремонті може бути проведена заміна трубного пучка або усього теплообмінного апарату.

Послідовність операцій при капітальному ремонті:

- вивчення креслень і дефектної відомості на апарат; підготовка необхідних запасних деталей, інструменту, матеріалів і підйомно-транспортних пристосувань;
- отримання дозволу на відключення обладнання;

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

- зняття контрольно-вимірювальних приладів, розкриття апарату і розбирання його на вузли і деталі;
- промивання і очищення;
- відбракування деталей методом огляду і вимірювання, уточнення дефектної відомості на ремонт і відомості на запасні частини;
- ремонт деталей, збирання вузлів, підгонка деталей і вузлів;
- виготовлення нових деталей і вузлів, внесення удосконалень, намічених до реалізації в період капітального ремонту;
- збирання, випробування апарату і усунення виявлених дефектів;
- перевірка апарату після збирання, підготовка до випробування;
- випробування апарату і здача його в експлуатацію.

Завершується виконання капітального ремонту складанням акту про передачу обладнання в експлуатацію.

Агрегатний метод ремонту використовується у тому випадку, коли не зберігається приналежність відновлених елементів і вузлів певному теплообмінному апарату.

## 7.2 Розбирання дефлегматора, виявлення і усунення дефектів

При розбиранні дефлегматора виконують наступні роботи: зняття кришок, виїмку трубнатки. Для зняття і ремонту кришок необхідно провести ряд операцій. В першу чергу слід від'єднати трубопроводи підведення і відведення води, що охолоджує, і пари дистилата, потім відвернути гайки і разболтить вертикальні роз'єми, укрутити віджимні болти, застропить і зняти кришки, причому необхідно кантувати їх вертикальним роз'ємом вгору. Далі слід зачистити поверхні ущільнювачів роз'ємів, виготовити і прографитити прокладення на вертикальних роз'ємах кришок і патрубках підведення-відведення води, що охолоджує, і пари дистилата, викрутити шпильки, відкалібрувати і прографитити різьблення кріплення. Далі слід зачистити

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

поверхні ущільнювачів фланців труباتки, виготовити і прографитить прокладення, відкалібрувати і прографитить різьблення кріплення.

Також при ремонтах теплообмінної апаратури виникає необхідність ремонту корпусу. Зношені ділянки корпусу визначають за допомогою гідравлічного опресовування або ультразвукової дефектоскопії.

Випучини і вм'ятини на корпусі виправляються ударами кувалди по мідній підкладці. Якщо дефекти неможливо усунути ударами, то пошкоджені частини видаляються або на них ставляться накладки.

Дефектні штуцери і трубні решітки, що досягли максимальних величин зносу і прогину замінюються.

Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або установкою накладок з попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають протяжність і положення кінців тріщин, виявлених в корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюють свердлами діаметром 3 - 4 мм. Ненаскрізнi тріщини завглибшки не більше 0,4 товщини стінки обробляються під заварку одностороннім вирубуванням на максимальну глибину тріщини зі зняттям кромek під кутом 50-60°. При тріщині більше 100 мм зварювання проводять зворотньоступінчатим методом. Наскрізнi і ненаскрізнi тріщини завглибшки більше 0,4 товщини стінки обробляють на усю товщину вирубуванням зубилом або газорізкою. При появі гніздоподібних тріщин ушкоджені місця вирізуються і закриваються латками без гострих кутів. Латки ввариваються урівень з основним металом. Площа латки не повинна перевищувати 1/3 площі листа апарата.

При частковій заміні корпусу апарата потрібно виконувати наступні вимоги:

- 1) матеріал для виготовлення нових частин корпусу за механічними і хімічними властивостями має бути однаковим з матеріалом ремонтovanого корпусу;
- 2) товщина листа замінюваної частини має бути не менше за проектну;

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

- 3) електроди повинні відповідати зварюваному матеріалу;
- 4) замикаючи обичайки мають бути шириною не менше 400 мм;
- 5) подовжніх швів в горизонтальних апаратах не має бути в нижній частині апарату;
- 6) кромки основного металу на поверхні обичайки на ширині 10 мм необхідно зачистити перед зварюванням до чистого металу;
- 7) подовжні шви в окремих обичайках циліндричної частини апарату, а також меридіональні або хордові шви днищ, що примикають до обичайок, мають бути зміщені один відносно одного не менше чим на 100 мм;
- 8) відстань між подовжніми швами в окремих обичайках повинна бути не менше 200 мм;
- 9) при зварюванні стиків необхідно передбачити плавний перехід від одного елемента до іншого.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці замінюють новими.

### 7.3 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки

Ремонт вузла кріплення труб в трубних решітках полягає в усуненні розгерметизації цього вузла у наслідок корозії, дії циклічних і термоциклічних навантажень, релаксації напружин у вальцювальному з'єднанні і тому подібне.

Порушення герметичності може бути викликане розгерметизацією труби і вузла кріплення. У першому випадку текцію легко усунути установкою конічних пробок з обох боків дефектної труби. Такі пробки завдовжки 40—60 мм застосовують для герметизації труб зовнішнім діаметром 10—28 мм з вуглецевих і корозійно-стійких сталей, латуні, монеля. Для холодильників, конденсаторів і інших апаратів при робочій температурі середовища не вище 105°C рекомендуються пробки з фібри, що розбухає при контакті з водою і надійно ущільнює місце течії. Застосування конічних пробок скорочує час простою установок. Течія в місцях кріплення труб в умовах експлуатації

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

усувається зазвичай розвальцьовуванням, оскільки застосування зварки часто неможливе за умовами техніки безпеки. При розвальцьовуванні на робочих місцях (без демонтажу теплообмінника) використання звичайного устаткування нерідко утруднене великою висотою вертикально розташованих теплообмінників, обмеженістю об'єму закритих камер і т. п. В цих випадках застосовують развальцьовочний інструмент з ручним приводом.

Развальцьовочний інструмент впливає на трубу і трубну решітку в процесі розвальцьовування. Найбільш точним і продуктивним методом контролю цього процесу в даний час є вимір і обмеження величини моменту, що крутить, на провідному елементі інструменту — хвостовику веретена.

Трьохроликівий развальцьовочний інструмент з регульованою глибиною розвальцьовування набув в даний час найбільшого поширення як у нас, так і за рубежем. У пазах корпусу, що розташовані під кутом  $120^\circ$  один до іншого і під кутом  $\phi$  (де  $\phi=1^\circ30'—4^\circ30'$ ) до подовжньої осі інструменту, обертаються ролики, що утримуються від випадання завальцьованими краями пазів. Усередині корпусу обертається і переміщається в осьовому напрямі веретено з фіксуючою гайкою. Гвинт фіксує в корпусі положення підшипникового упору, що складається з нерухомої обойми, підшипника, стопорного кільця і різьбового упору, що обертається разом з корпусом. Глибину розвальцьовування регулюють перекриттям підшипниковим упором частини довжини роликів переміщенням по різьбленню упору.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## 8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Охорона праці - це система законодавчих актів і відповідним їм соціально-економічних, технічних, гігієнічних і організаційних заходів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Основними складовими частинами охорони праці є трудове законодавство, техніка безпеки, виробнича санітарія і протипожежна техніка. Трудове законодавство регламентує питання трудового права; техніка безпеки і виробнича санітарія спрямована на забезпечення здорових і безпечних умов праці; протипожежна техніка є системою заходів щодо попередження пожеж і боротьбі з ними.

Численні і різноманітні технологічні процеси хімічної промисловості засновані на використанні високих температур, високих і надвисоких тисків, вибухо- і пожежонебезпечних і токсичних речовин у різних агрегатних станах. Для забезпечення сприятливих і безпечних умов праці працюючих необхідне застосування принципів різних технічних прийомів і способів захисту, створення нової техніки і технології, що забезпечують оптимальні умови праці.

Дотримання правил техніки безпеки у виробництві аміаку, що є вибухонебезпечним і пожежонебезпечним - неодмінна умова безпечної роботи і безаварійного протікання всіх технологічних процесів.

Охорона праці, техніка безпеки, промислова санітарія і охорона навколишнього середовища безпосередньо впливають на захворюваність робітників та службовців, що, у свою чергу, відбивається на продуктивності праці, а, отже, і на техніко-економічні показники виробництва.

Турбота про охорону навколишнього середовища шляхом зменшення шкідливих викидів в атмосферу, зниження змісту аміаку в стічних водах мають велике значення для поліпшення екології.

Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори у виробництві характеризуються:

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

- наявністю газів, які в суміші з киснем повітря утворюють вибухонебезпечні концентрації (природний газ, конвертований газ, водень, азотоводнева суміш, аміак);

- наявністю горючих речовин і матеріалів (природний газ, конвертований газ, водень, азотоводнева суміш, аміак, масло і промаслені матеріали, електроустаткування);

- можливістю влучення на тіло людини високотемпературних середовищ (гарячий газ, гаряча вода, пара);

- можливістю поразки електричним струмом (при наявності ушкоджень на електроустаткуванні й електропроводці і у результаті недотримання правил електробезпеки);

- наявністю механізмів, що обертаються і рухомих, що може викликати травматизм; експлуатацією устаткування під тиском, виконання робіт на висоті, у прямках, колодязях, колекторах, закритих посудинах;

- підвищеним рівнем шуму на робочому місці;

- накопиченням зарядів статичної електрики.

#### Загальні вимоги до ремонтних робіт

1 Необхідно виконувати тільки ті роботи, які доручені безпосереднім керівником.

2 Стежити, щоб в зоні робіт не знаходилися сторонні особи. Попереджати інших працівників про початок тих або інших етапів монтажу-демонтажу.

3 Не допускається знаходження працівників під обладнанням, що монтується або демонтується, до установки його в стійке положення. При необхідності знаходження працівників як виняток під обладнанням, що монтується або демонтується, слід здійснювати спеціальні заходи, що забезпечують безпеку таких працівників.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		



4 Не допускається використовувати для закріплення відповідного оснащення наявні устаткування, трубопроводи, будівельні конструкції без узгодження з особами, відповідальними за їх експлуатацію.

5 З'єднання отворів і перевірка їх збігу в монтованому обладнанні повинно проводитися з використанням спеціального інструменту (конусних оправлянь, складальних пробок та ін.). Перевіряти з'єднання отворів в монтованому обладнанні пальцями рук забороняється.

6 При роботах в пожежонебезпечному середовищі слід застосовувати інструмент, пристосування і оснащення, що унеможлиблює іскроутворення.

7 Має бути унеможливлена мимовільного включення монтованого (що демонтується) устаткування.

8 При вантаженні, розвантаженні, переміщенні, підйомі і вивірянні монтованого обладнання (устаткування, трубопроводів, металоконструкцій) має бути забезпечена їх справність.

9 Трубопроводи слід приєднувати до окремо монтованого обладнання, як правило, після закріплення на опорах цього обладнання, без перекосів і додаткового натягнення.

10 Підвіски або опори трубопроводів повинні забезпечувати утримання масу трубопроводу і ізоляції з коефіцієнтом запасу не менше 1,2.

11 Ділянки трубопроводів не повинні мати стиків в місцях прокладення через стіни або перекриття.

#### Проведення робіт на висоті

Роботи на висоті вище 1,3м повинні виконуватися із застосуванням приставних сходів, драбин, подмостей, лісів, що мають обгороджування або при обов'язковому застосуванні перевірених або випробуваних запобіжних поясів, якщо роботи проводяться з необгороджених поверхонь.

Роботи, які виконуються на висоті більш 5м від поверхні землі, перекриття або робочого настилу, безпосередньо з конструкції, устаткування, машин і

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

механізмів при їх монтажі і ремонті мають проводитися із застосуванням запобіжного поясу (поясу верхолаза).

До роботи на висоті допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, ввідний і первинний інструктаж по техніці безпеки і перевірку знань інструкції згідно переліку обов'язкових інструкцій для даної професії.

Ліси, підмости, і інші пристосування для виконання будівельно – монтажних і ремонтних робіт на висоті мають бути інвентарними, виготовлятися по типових проектах і відповідати ГОСТ 12.2.003 – 74.

Навантаження на настили лісів, подмостей і вантажопідйомних майданчиків не повинні перевищувати встановлених проектом величин. Скупчення на настилах людей в одному місці не допускається.

При проведенні ремонтно – монтажних робіт робітник зобов'язаний бути одягнений в спецодяг, мати при собі сумку для інструментів і працювати з надітою на голову каскою.

При роботі на висоті більш 5м, працівник повинен користуватися ременем безпеки, а так само не допускається розміщення працівників на різних відмітках по одній вертикалі.

#### Основні правила при проведенні такелажних та стропувальних робіт

Слюсар повинний знати правила безпечного виконання такелажних і стропувальних, а також електроробіт. Транспортування і підйом вузлів здійснюється тільки справними вантажопідйомними механізмами. До ручного транспортування вантажів допускаються особи, що досягли 18-його віку і пройшли медогляд, Одна людина може піднімати вантаж не більш 50кг. Підйом більш важких вантажів одною людиною забороняється.

При роботі з вантажопідйомними пристроями забороняється знаходитися під піднятим вантажем, або шляхи його руху, відривати краном апарат від бетонної підливи, допускати розгойдування вантажу, залишати вантаж у підвішеному стані на тривалий час.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## Проведення зварювальних і вогневих робіт

Вогневі роботи дозволяється проводити тільки після виконання всіх підготовчих робіт і заходів, передбачених нарядом-допуском.

Напередодні для проведення вогневих робіт в пожежну частину прямує письмове сповіщення з вказівкою найменування цеху, номери корпусу, місця і характеру вогневих робіт.

Перед початком і періодично в процесі проведення робіт необхідно проводити аналізи стану повітряного середовища на місці робіт.

В разі підвищення змісту горючих речовин в небезпечній зоні, усередині апарату або трубопроводу вогневі роботи негайно припиняються. Ці роботи можуть бути відновлені тільки після виявлення і усунення причини загазованості і відновлення нормальної повітряної середовища.

Під час проведення вогневих робіт технологічним персоналом цеху мають бути прийняті заходи, що виключають виділення в повітряну середовищу вибухонебезпечних речовин.

Основні правила техніки безпеки при проведенні газозварювальних і електрозварювальних робіт:

- Для проведення газозварювальних робіт, електрозварювальних робіт і інших вогневих робіт повинен бути у кожному окремому випадку наряд-допуск, затверджений начальником цеху. Наряд-допуск повинен бути узгоджений з представником ВПЧ.

- Підключення апарату електрозварювання до мережі з боку високої напруги проводиться тільки черговим електриком.

- При електрозварювальних роботах зварювальнику і допоміжним робітникам необхідно захищати очі від дії променів електродуги за допомогою захисних окулярів. Місця проведення вогневих робіт повинні бути екрановані від іскр, що розлітаються, і засліплення людей, що працюють поряд.

- Корпус апарату електрозварювання має бути заземлений.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

- Забороняється допускати до роботи на електрозварювальних і газозварювальних апаратах осіб, що не навчені, які не мають посвідчення на право роботи на цих апаратах.

- Газозварник повинен пам'ятати, що масло при зіткненні з киснем, що знаходиться під тиском, спалахує, а це може викликати вибух і пожежу.

- Не піддавати балони нагріву (від сонця або інших джерел), оскільки при нагріві підвищується тиск в балоні, що може привести до вибуху і нещасного випадку.

- Оберігати від ударів і падіння балони, оскільки це може привести до їх вибуху. Балони мають бути надійно закріплені.

- При проведенні вогневих робіт необхідно строго дотримуватися правил протипожежної безпеки і на робочому місці мати засоби пожежегасіння. Після закінчення зварювальних робіт перевірити, чи немає де загоряння.

- До зварювальних робіт на апаратах, що працюють під тиском, допускаються зварювальники, що мають посвідчення на право зварки посудин, підконтрольних Держміськтехнагляду.

Апарат до початку зварювання повинен бути заземлений. Необхідно електродержач блокувати з пускачем так, щоб при заміні електродів до електродержача відключалась напруга. Рукоятка електродержача повинна бути виготовлена з діелектричного та теплостійкого матеріалу.

Всередині апарату електрозварник повинен працювати у відповідних засобах захисту: у діелектричних рукавичках, галошах, шланговому протигазі та захисному шоломі, а також підлокітниках та наколінниках. Зварювальні роботи виконувати стоячи на гумовому килимці. Забороняється запалювати газові горілки всередині апаратів.

При виконанні газонебезпечних робіт з вибухонебезпечними газами необхідно користуватися інструментами, що не дають іскр при ударі, а для освітлення застосовувати переносні електролампи з напругою 12 вольт у вибухозахищеному виконанні, мати засоби індивідуального захисту: протигазу ПШ-1, ПШ-2.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розглянуто установку ректифікації суміші діхлоретан-толуол продуктивністю 5,5 т/год. з розробкою дефлегматора:

- а) На основі аналітичного огляду вибрана конструкція дефлегматора, розміри якого отримані з технологічного розрахунку.
- б) Виходячи з умов роботи і характеристик робочого середовища підібрані конструкційні матеріали;
- в) Роботоспроможність дефлегматора підтверджена розрахунками на міцність, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативно-технічною документацією;
- г) Розглянуті питання технології виготовлення дефлегматора, його монтаж і ремонт;
- д) Висвітлені питання техніки безпеки.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпись	Дата		

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
- 2 Справочник химика, т. 5. – М.: Химия, 1968. – 975 с.
- 3 Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Под ред. Дытнерского Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии, 2-е изд., перераб. И дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
- 4 Коган В.Б., Фридман В.М, Кафаров В.В. Равновесие между жидкостью и паром. Справочное пособие, книга 1-я и 2-я. – М.-Л.: Наука, 1966. – 640 с. + 786 с.
- 5 Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
- 6 Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу «Процессы и аппараты химической промышленности». – Л.: Химия, 1985. – 54 с.
- 7 Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.
- 8 Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.
- 9 Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
- 10 Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. «Машиностроение», 1978 г. 326 с.
- 11 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые общего назначения. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Каталог. М.: АООТ «ВНИИнефтемаш». 2001.–.70 с.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		81

12 Машины и аппараты химических производств: Учебник для вузов по специальности “Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов”./ И.И. Поникаров и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

13 Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. – М.: Машиностроение, 1970. –752с.

14 Кожухотрубчатые теплообменные аппараты общего и специального назначения. Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш”. 1991.–.108 с.

15 ТУ 3612-024-00220302-02. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Технические условия. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”. 2002.–.145 с.

16 Методические указания к выбору конструкционных материалов для стальных сварных сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220/ Сост. А.И. Барвин, И.М. Генкина, В.В. Иванченко, Д.А. Куликов, В.Г. Табунщиков, Ю.Н. Штонда. – Северодонецк, СТИ, 2003. – 41 с.

17 ТУ 26-02-1102-89. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые повышенной тепловой эффективности с расширителем на кожухе. Технические условия. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”, 1989.–.48 с.

18 ОСТ 26-01-1512-76. Компенсаторы линзовые осевые на  $P_y=2,5$  МПа. Технические требования.

19 ГСТУ 3-071-2004. Апарати кожухотрубчасті теплообмінні та повітряного охолодження. Кріплення труб в трубних решітках.

20 СОУ МПП 71.120-217:2009. Посудини та апарати сталльні зварні. Загальні технічні умови.

21 А.И. Барвин и др. Методические указания к расчету цилиндрических обечаек стальных сварных сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220. Северодонецк, 2002.– 83 с.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		

22 О.І. Барвін та ін. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2007. – 306 с

23 А.И. Барвин и др. Расчет выпуклых и плоских днищ и крышек, конических обечаек, днищ и переходов стальных сварных сосудов и аппаратов. Методика и примеры расчета– Северодонецк, СТИ, 2003. – 122 с.

24 Емкостные стальные сварные аппараты. Каталог. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1982. - 76 с.

25 В.В. Иванченко, О.І Барвін, Ю.М Штонда Конструювання та розрахунок кожухотрубчастих теплообмінних апаратів: – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2006. – 208 с.

26 Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств /Г.Г. Смирнов, А.Р. Толчинский, Т.Ф. Кондратьева; Под общ. ред. А.Р. Толчинского –Л.: Машиностроение. 1988.– 303 с.

27 Ермаков В.И., Шеин В.С. Ремонт и монтаж химического оборудования: Учебное пособие для вузов. – Л.: Химия, 1981. – 368 с.

28 Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. - Вид.5-е, доп.-Львів:Афіша, 2002.-350с.

					2018.014.00.000.ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Подпись	Дата		