

## ВСТУП

Для отримання продуктів складного складу, розділення ізотопів, виділення індивідуальних речовин широке застосування в промисловості отримала ректифікація. Цей процес заснований на різній летючості складових суміш компонентів, тобто на різних температурах кипіння компонентів при однаковому тиску. Ректифікація полягає в багаторазовому частковому випаровуванні рідини і конденсації пари. Процес здійснюється шляхом контакту потоків пари і рідини, що мають різну температуру, і проводиться зазвичай в колонних апаратах, що складаються з власне колони, де здійснюється протитечійне контактування пара і рідини, і пристроїв, в яких відбувається випаровування рідини і конденсація пари - куба і дефлегматора .

За конструкцією ректифікаційні колони поділяються на насадкові, тарілчасті і роторні. Основним типом колонних апаратів великої продуктивності вважаються ректифікаційні колони з барботажем тарілками, а при необхідності самого малого перепаду тиску на одну теоретичну щабель поділу або при роботі в корозійному середовищі - колони з насадкою.

За способом проведення ректифікацію поділяють на періодичну і безперервну.

При безперервній - суміш, що розділяється безперервно подається в середню частину колони, дистилат відбирається з дефлегматора, а збіднений легколетучим компонентом залишок відводиться з куба колони, флегма надходить на зрошення у верхню частину колони.

При періодичній ректифікації в нижню частину (куб) колони, забезпеченою нагрівальним пристроєм, завантажують вихідну суміш; утворюється пара піднімається верх і конденсується в дефлегматоре (холодильнику), частина конденсату (флегми) повертається на зрошення у верхню частину колони, а залишилася рідина відбирається.

Насадок колони набули широкого поширення в хімічній промисловості завдяки простоті їх пристрою, дешевизні виготовлення і малому

гідравлічному опору при плівковому режимі роботи. У насадок масообмінних апаратах рідина тонкою плівкою покриває насадку і стікає по ній, при цьому поверхня контакту з газоподібної фазою визначається поверхнею насадки, властивостями рідини і гідродинамічним режимом.

Недоліком роботи насадок колони є нерівномірність розподілу пари і рідини по поперечному перерізі, що призводить до - неоднаковою ефективності різних її частин і низьку ефективність роботи всієї колони в цілому. Значне збільшення ефективності апарату досягається застосуванням насадки, частково зануреної в рідину: газ при цьому у вигляді бульбашок барботують через шар рідини.

В окремих випадках застосовують рухливі насадки, які призводять до коливальний рух висхідним потоком газу, при цьому допускаються високі швидкості руху фаз, а поверхня міжфазного контакту перевищує поверхню насадок елементів. Ефективність тепло- і масообміну в значній мірі залежить від рівномірності розподілу рідини в обсязі насадки. Це завдання вирішується застосуванням спеціальних зрошувачів, які розподіляють рідину по верхньому перетину насадки, і використанням матеріалів (металевих сіток, армованої склотканини), що забезпечують розтікання рідини по поверхні насадки під дією капілярних сил.

Насадки завантажують в апарати навалом на опорні решітки (нерегулярні насадки), укладають у певному порядку або монтують в жорстку структуру (регулярні насадки). Виготовляють насадки з дерева, металу, скла, кераміки, пластмас. Елементи нерегулярних насадок виконують у вигляді кілець, спіралей, роликів, куль, сідел і т.д. Найбільш поширені кільця Рашига, розміри яких зазвичай складають 50 мм. Для підвищення змочуваності насадки і пропускної здатності апарату стінки кілець іноді постачають поздовжніми або поперечними канавками або прорізами.

Для відводу рідини з насадок колони застосовують дві схеми: в першій схемі (звичайні насадки колони) рідина стікає по насадці і відводиться з

нижньої частини колони; в другій схемі (емульгаційні колони) рідина відводиться через переливної трубу.

В даному дипломному проекті проводиться розрахунок ректифікаційної колони для поділу бінарної суміші - «сірковуглець - чотирихлористий вуглець».

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Перегонка рідини

Перегонка рідин - процес, в якому колективна рідка суміш нагрівається до кипіння, а пара, що утворюється відбирається і конденсується. У результаті отримують рідину-конденсат, склад якої відрізняється від складу початкової суміші. Повторюючи багато разів процеси випаровування конденсату і конденсації, можна практично повністю розділити вихідну суміш на чисті складові частини (компоненти). Процес перегонки заснований на тому, що рідини, складові суміш, володіють різним тиском (пружністю) пари при одній і тій же температурі. Тому склад пара, а отже, і склад рідини, що виходить при конденсації пари, будуть дещо відрізнятися від складу початкової суміші: легколетучого компонента в парі буде міститися більше, ніж у перегониться рідини. Очевидно, що в невикпарених рідини концентрація важколетучого компонента при цьому повинна збільшитися. У простому випадку перегонка майже не відрізняється від випарки. При випарюванні піддаються розчини, що складаються з летючого розчинника і практично нелетючої розчиненої речовини, а при перегонці в пар переходять і розчинник, і розчинена речовина. Перегонка є одним з найважливіших технологічних процесів розділення і очищення рідин і зріджених газів в хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості. Перегонку поділяють на два основних види: просту перегонку (або дистиляцію) і ректифікацію. До простий перегонки відносять також перегонку з водяною парою, і молекулярну дистиляцію. Під простий перегонкою розуміють процес одноразового часткового випаровування вихідної рідкої суміші і конденсації утворюються при цьому парів. Її застосовують для розділення сумішей, що представляють собою Легколетюча речовина з деяким вмістом вельми важколетких речовин. Зазвичай просту перегонку використовують для попереднього розділення,

очищення речовин від домішок, смол, забруднень. При цьому сконденсовані пари називають дистилятом, а решту пропареної рідини - залишком. За допомогою простої перегонки неможливо розділити суміш на відносно чисті компоненти. Цього досягають ускладненим процесом перегонки — ректифікацією. Щоб здійснити процес ректифікації, між дистиляційним кубом і дефлегматором установлюють ректифікаційну колону, в якій відбувається контакт потоку пари, що рухається вгору, і флегми, що стікає вниз. Зустрічні потоки пари і рідини у будь-якому перерізі колони нерівноважні, тому між ними існує перерозподіл компонентів у напрямку встановлення фазової рівноваги. Щоб забезпечити тісний контакт між парою і рідиною, в колонах установлюють спеціальні пристрої — так звані тарілки, або контакт відбувається в шарі насадки, що заповнює колону. Здійснюючи послідовно у протитечії багаторазовий контакт не рівноважних потоків парової і рідкої фаз, можна змінити їхній склад до бажаного ступеня. В цьому й полягає суть ректифікації. Ректифікацію здійснюють в установках періодичної або безперервної дії. В установках періодичної дії вихідну суміш заливають у дистиляційний куб, де її підігрівують до кипіння, а потім безперервно кип'ятять. Утворювана пара надходить у колону, зрошувану флегмою. Частина пари, що не сконденсувалася у дефлегматорі, надходить у конденсатор, конденсат (дистилят) з якого відводиться у збірник дистиляту. Ректифікацію проводять доти, доки рідина в кубі (кубовий залишок) не досягне заданого складу. Після цього припиняють підігрівання кубової рідини, кубовий залишок вилучають, а куб знову заповнюють вихідною сумішшю, тобто процес повторюється. Ректифікаційні установки періодичної дії використовують найчастіше у виноробстві (виробництві коньяку) та на невеликих спиртових заводах. Недоліком установок періодичної дії є необхідність безперервного збільшення флегмового числа, тобто зменшення продуктивності установки для забезпечення заданого складу дистиляту, тоді як частка ЛЛК у кубі безперервно зменшується. Недоліком також є нерівномірність у часі споживання установкою енергії та охолоджувального

агента. В установках безперервної дії вихідну суміш (живлення) безперервно подають у колону і так само безперервно відводять дистилат з конденсатора і кубовий залишок з кубової частини колони. Ректифікаційна колона в установках безперервної дії може бути повною, тобто має нижню, виснажну (відгонну) та верхню, концентраційну частини, або неповною, що має тільки виснажну, або тільки концентраційну частину. У виснажній частині повної колони ЛЛК вилучається з вихідної суміші за допомогою пари, що рухається протитечією. В концентраційній частині збільшується вміст ЛЛК в парі, що рухається вгору, за рахунок флегми. Вихідна суміш може надходити у вигляді пари або рідини. Місцем надходження вихідної суміші є межа між виснажною та концентраційною частинами. У неповну виснажну колону живлення подають тільки в рідкому стані на верхню тарілку, в неповну концентраційну колону — тільки у паровому стані під нижню тарілку. У повних і неповних концентраційних колонах зрошення здійснюють флегмою. Дистилат відбирають після повної або часткової конденсації пари в дефлегматорі. Зрошення неповної виснажної колони здійснюють рідким живленням, яке подають на верхню тарілку.

## **1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини**

Ректифікація, як і інші процеси масопередачі, протікає на поверхні розділу фаз, тому апарати для ректифікації повинні забезпечувати розвинену поверхню контакту між паровою й рідкою фазою.

Для проведення процесів ректифікації застосовуються апарати колонного типу. По характеру взаємодії паровий і рідкої фаз ректифікаційні колони можна розділити на дві основні групи:

- зі східчастим (дискретним) контактом фаз;
- з безперервним контактом фаз.

Ректифікаційні колони з безперервним контактом фаз - у цих колонах рідина стікає у вигляді плівки – або по поверхні насадки

(насадочні колони), або по внутрішній або зовнішній поверхні вертикальних труб (плівкові й роторно-плівкові апарати), а пара у вигляді суцільного потоку піднімається нагору через вільний об'єм насадки лил усередині вертикальних труб.

Ректифікаційні колони зі східчастим контактом фаз – являють собою колони, усередині яких на певній відстані один від одного по висоті колони розміщують горизонтальні перегородки – тарілки. Тарілки служать для розвитку поверхні контакту фаз при спрямованому русі цих фаз (рідина тече зверху вниз, а пара проходить у вигляді пухирців або струмків знизу нагору) і багаторазовій взаємодії рідини й пари.

Гідродинамічні режими роботи тарілок. 1) Бульбашковий (барботажний) режим виникає при невеликих швидкостях пари, коли у вигляді окремих пухирців пара рухається через шар рідини на тарілці. Поверхня контакту фаз у цьому режимі невелика. 2) Пінний режим виникає при збільшенні швидкості пари, коли його пухирці, що виходять із прорізів і отворів, зливаються в струмені, які внаслідок опору барботажного шару руйнуються з утвором ще більшого числа дрібних пухирців. При цьому на тарілці утворюється газорідинна система – піна. Основною поверхнею контакту фаз у такій системі є поверхня пухирців, а також струменів пари й крапля рідини над парожидкостною системою, які утворюються при руйнуванні пухирців пари в момент їх виходу з барботажного шару. Поверхня контакту фаз при пінному режимі найбільша, тому пінний режим звичайно є найбільш раціональним режимом роботи тарілчастих колон. 3) Струминний (інжекційний) режим виникає при подальшому збільшенні швидкості пари, коли збільшується довжина парових струменів і настає такий режим, при якому вони виходять із газорідинного шару не руйнуючись, але утворюючи велику кількість бризів. У цьому режимі поверхня контакту фаз суттєво менше, чим у пінному.

По способу зливу рідини з тарілки на тарілку тарілчасті колони підрозділяються на колони з тарілками зі зливальними обладнаннями й з тарілками без зливальних обладнань.

Тарілчасті колони зі зливальними обладнаннями. До апаратів цього типу ставляться колони з ковпачковими, ситчатими, клапанними й іншими тарілками. Ці тарілки мають спеціальні обладнання для перетікання рідини з однієї тарілки на іншу – зливальні трубки, кишені і т.д. Нижні кінці зливальних обладнань занурені в рідину на нижчерозташованих тарілках для створення гідрозатвора, що запобігає проходження газу через зливальне обладнання.

Принцип роботи колон такого типу показаний на рис. 1.1 на прикладі колони з ковпачковими тарілками. Рідина подається на верхню тарілку, рухається уздовж тарілки від одного зливального обладнання до іншого, перетікає з тарілки на тарілку й віддаляється з нижньої частини абсорбера. Пара надходить у нижню частину абсорбера, проходить через прорізи ковпачків (в інших абсорберах – через щілини і т.д.) і потім попадає в шар рідини на тарілці. При цьому пара в рідині розподіляється у вигляді пухирців і струменів, утворюючи в ній шар піни, у якій відбуваються основні процеси масо- і теплопереносу. Пройшовши через усі тарілки, пару йде з верхньої частини апарату.

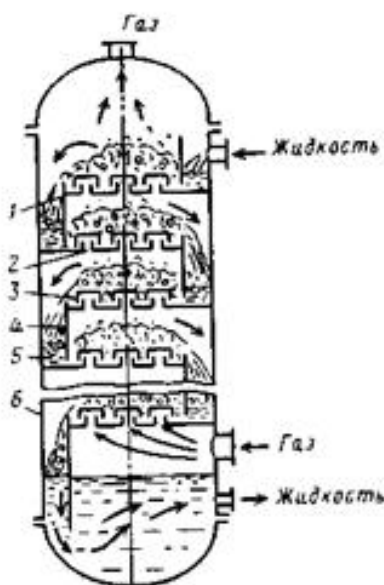




Рис. 1.1 Тарілчаста колона з ковпачковими тарілками: 1-тарілки; 2-газові (парові) патрубки; 3-ковпачки; 4-переточні перегородки (труби); 5-гідравлічні затвори; 6-корпус колони.

Ковпачкові тарілки стійко працюють при значних змінах навантажень по парі й рідини й вони мало чутливі до забруднень і опадом. Але недоліки ковпачкових тарілок досить істотні – вони складні в обладнанні, для їхнього виготовлення потрібні більші витрати металу, вони відрізняються більшим гідравлічним опором і малою гранично припустимою швидкістю пари.

Сітчасті тарілки. Ці тарілки (рис. 1.2) мають велику кількість отворів діаметром 2-8 мм, через які проходить пара в шар рідини на тарілці. До достоїнств сітчатих тарілок відносяться простота їх обладнання, легкість монтажу й ремонту, низький гідравлічний опір, досить висока ефективність. Недоліки: по-перше, при занадто малій швидкості пару рідина може просочуватися через отвори тарілки на нижчерозташовану тарілку, що приводить до істотного зниження рушійної сили процесу ректифікації. По-друге, ці тарілки чутливі до забруднень і опадом, які забивають їхні отвори.

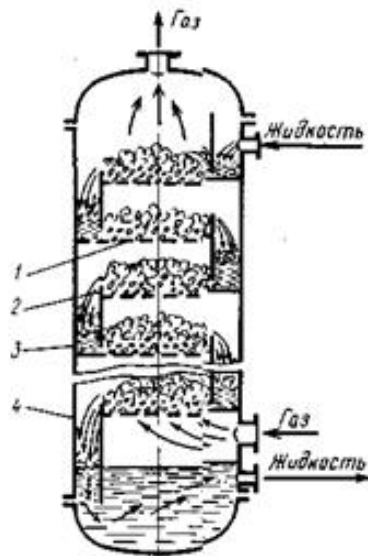


Рис. 1.2 Тарілчаста колона із сітчастими тарілками

Клапанні тарілки. Принцип дії цих тарілок (рис.1.3) полягає в тому, що клапан 2, що вільно лежить над отвором у тарілці 1, зі зміною витрати пари збільшує підйом і, відповідно, площа зазору між клапаном і площиною тарілки для проходу пари. Тому швидкість пари в цьому зазорі, а значить і у вході в шар рідини на тарілці, залишається постійною, що забезпечує незмінно ефективну роботу тарілки. Гідравлічний опір тарілки при цьому збільшується незначно. Висота підйому клапана визначається висотою обмежувача 7.

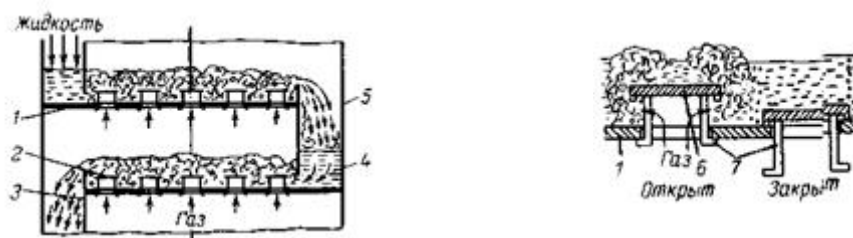


Рис. 1.3 Клапанні тарілки.

До достоїнств клапанних тарілок слід віднести їхню гідродинамічну стійкість і високу ефективність у широкому інтервалі зміни навантажень по пару. До недоліків цих тарілок відносяться їхній підвищений гідравлічний опір і ускладнена конструкція тарілки.

Колони з тарілками без зливальних обладнань. У тарілці без зливальних обладнань (рис. 1.4) пара й рідина проходять через ті самі отвори або щілини. При цьому одночасно із взаємодією фаз на тарілці відбувається стік рідини на нижчерозташовану тарілку – «провалювання» рідини.

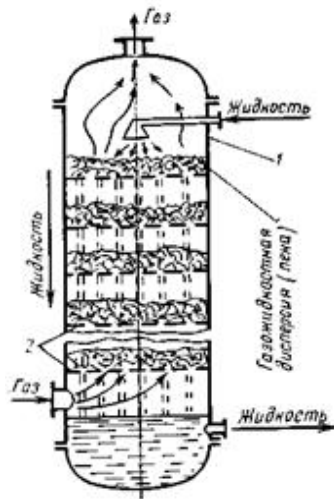


Рис. 1.4 Тарілчаста колона без зливальних обладнань

### 1.3 Конструкція холодильника кубового залишку

Враховуючи широкий діапазон тиску і температур робочого середовища, а також різноманітність їх властивостей, до сучасних теплообмінних апаратів пред'являються такі основні вимоги:

- конструкція апарату має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією терміну служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі і експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої поверхні), очищення, промивання, продування і ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої кресленням;

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати класифікуються:

- по конструкції (друга буква індексу) - Н - з нерухомими трубними решітками; К - з температурним компенсатором на кожусі; П - з плаваючою головкою; У - з U-подібними трубами; ПК - з плаваючою головкою і компенсатором на ній;

Кожухотрубчасті теплообмінники є апаратами, виконані з пучків труб, зібраних за допомогою трубних решіток, і обмежені кожухами і

кришками з штуцерами. Труби, кожух і інші елементи конструкції можуть бути виготовлені з вуглецевої або нержавіючої сталі. Трубний і міжтрубний простір в апараті роз'єднаний, а кожне з цих просторів може бути розділене за допомогою перегородок на кілька ходів. Перегородки встановлюються з метою збільшення швидкості, а отже, і інтенсивності теплообміну теплоносіїв. Теплообмінники цього типу призначаються для теплообміну між різними рідинами, між паром і рідинами або між рідинами і газами. Вони застосовуються тоді, коли потрібна велика поверхня теплообміну. Трубки теплообмінників виготовляються прямими (за винятком теплообмінників з U-подібними трубками); тому вони легко доступні для очищення і заміни в разі течі. У більшості випадків пар (гріючий теплоносіїв) вводиться в міжтрубний простір, а нагрівається рідина протікає по трубках. Конденсат з міжтрубному простору виходить до конденсатовідвідників через штуцер, розташований в нижній частині кожуха. Для компенсації температурних подовжень, що виникають між кожухом і трубками, передбачається можливість вільного подовження труб за рахунок різного роду компенсаторів. Особливість кожухотрубчасті теплообмінників полягає в тому, що прохідний перетин міжтрубному простору велике в порівнянні з прохідним перетином трубок і може бути більше останнього в 2,5- 3 рази. Кожухотрубчасті апарати можуть бути вертикальними і горизонтальними. Вертикальні апарати мають більше поширення, так як вони займають менше місця і більш зручно розташовуються в робочому приміщенні. Для зручності монтажу і експлуатації максимальну довжину трубок для них слід брати не більше 5 м. Щоб уникнути різкого зниження тепловіддачі від конденсується пара до стінки в корпусі теплообмінника повинні бути передбачені крани для випуску повітря як з нижньої частини апарату над поверхнею конденсату, так і з верхньої його частини. У кожухотрубних теплообмінниках труби можуть бути розташовані по сторонам шестикутників або, що одне і те ж, рівносторонніх трикутників (трикутної) або по концентричних колах. Питання про те, який з теплоносіїв направляти в труби або в

міжтрубний простір, має вирішуватися з точки зору не тільки інтенсифікації теплообміну, а й надійності роботи теплообмінника. Якщо теплоносій викликає корозію або механічне пошкодження труб, то краще його пропустити всередину труб, так як економічніше виконати труби з матеріалу високої вартості, ніж кожух. У труби доцільно направляти теплоносій під великим тиском, ніж в міжтрубному просторі, щоб не робити товстостінний кожух, а також більш забруднений, оскільки труби очистити легше, ніж міжтрубний простір. Наприклад, димові гази зазвичай проходять в трубах, що зменшує засмічення апарату золою і сажею, а пар і повітря - в міжтрубному просторі.

## 2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ

### 2.1 Опис технологічної схеми та конструкції колони

Колона ректифікації та холодильник кубового залишку є складовими частинами апаратурного оформлення процесу ректифікації. Вони відносяться до основного обладнання. Технологічна схема ректифікаційної установки представлена на рис.2.1. До її складу входять:

- колона **КР**;
- ємності **Е1, Е2, Е3**;
- насоси **Н1, Н2, Н3**;
- підігрівник вихідної суміші **П**;
- холодильники **Х1 і Х2**;
- кип'ятильник **К**;
- дефлегматор **Д**.

Установка працює наступним чином:

Вихідна суміш із проміжної ємності **Е1** відцентровими насосами **Н1 і Н2** подається в теплообмінник **П**, де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш надходить на розділення у середину ректифікаційної колони **КР** на тарілку живлення, де сполука рідини дорівнює сполуці вихідної суміші.

Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з парою, що піднімається нагору та утворюються при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику **К**. Початкова сполука пари приблизно дорівнює сполуці кубового залишку, тобто збіднений легколетучим компонентом. У результаті масообміну з рідиною пар збагачується легколетучим компонентом. Для більш повного збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмовим числом рідиною (флегмою), одержуваною в дефлегматорі **Д** шляхом конденсації пари, що виходить із колони. Частина конденсату

виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту поділу – дистилляту, який проохолоджується в теплообміннику **X2** і направляєється в проміжну ємність **E3**.

З кубової частини колони насосом **Н3** безупинно виводиться кубова рідина – продукт, збагачений важколетучим компонентом, який проохолоджується в теплообміннику **X1** і направляєється в ємність **E2**.

Таким чином, у ректифікаційній колоні здійснюється безперервний процес поділу вихідної бінарної суміші на дистиллят (з високим змістом легколетучего компонента) і кубовий залишок (збагачений важколетучим компонентом).

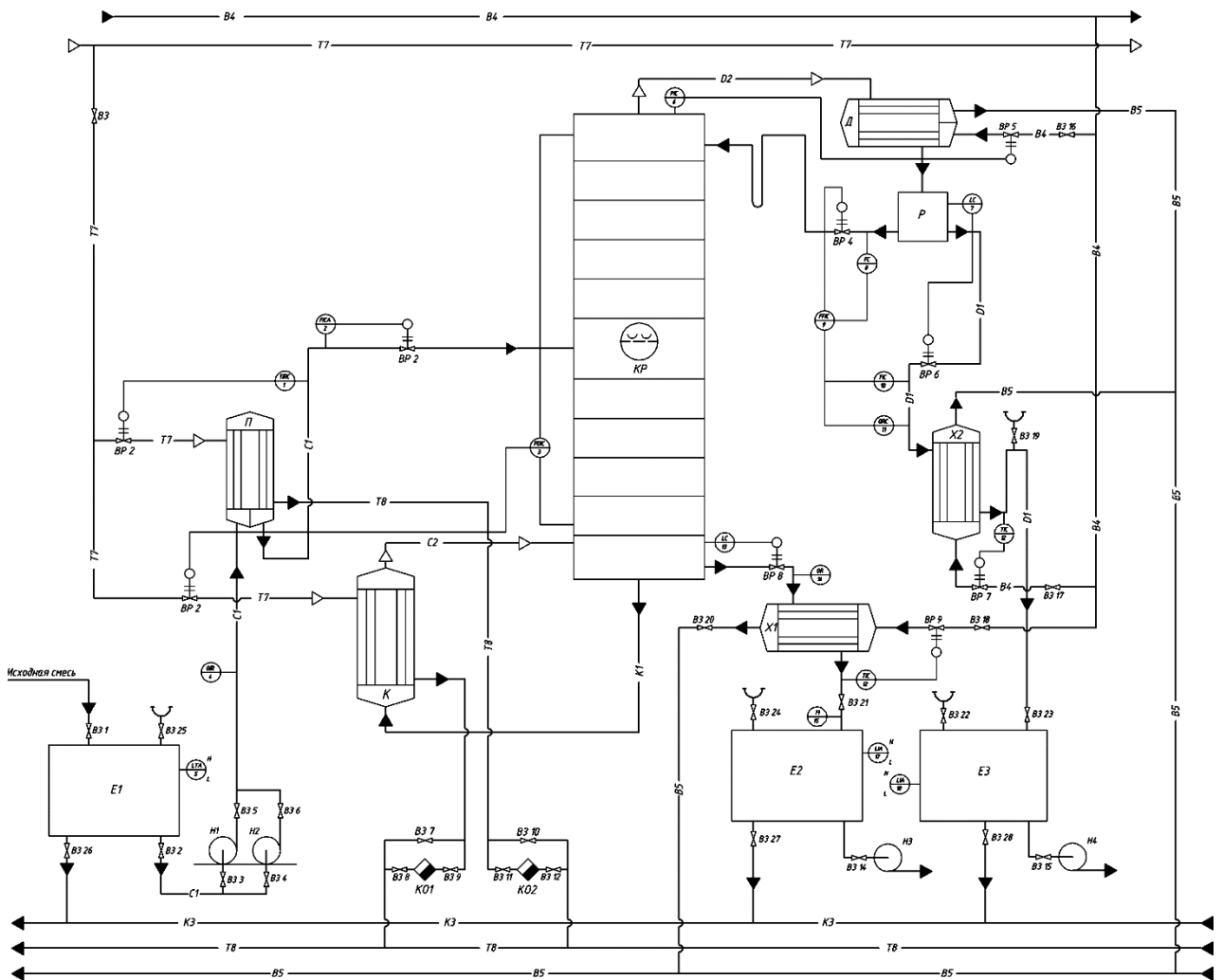


Рис. 2.1 – Схема ректифікаційній установці

Колона з сітчастими тарілками (рис.2.2) призначена для розділення суміші сірковуглець-чотирихлористий вуглець продуктивністю 6 т/год по дистилляту.

Колона із сітчастими тарілками являє собою вертикальний циліндричний корпус із горизонтальними тарілками, у яких рівномірно по всій поверхні просвердлене значне число отворів діаметром 2–8 мм. Для зливу рідини й регулювання її рівня на тарілці служать переливні трубки, нижні кінці яких занурені в склянки.

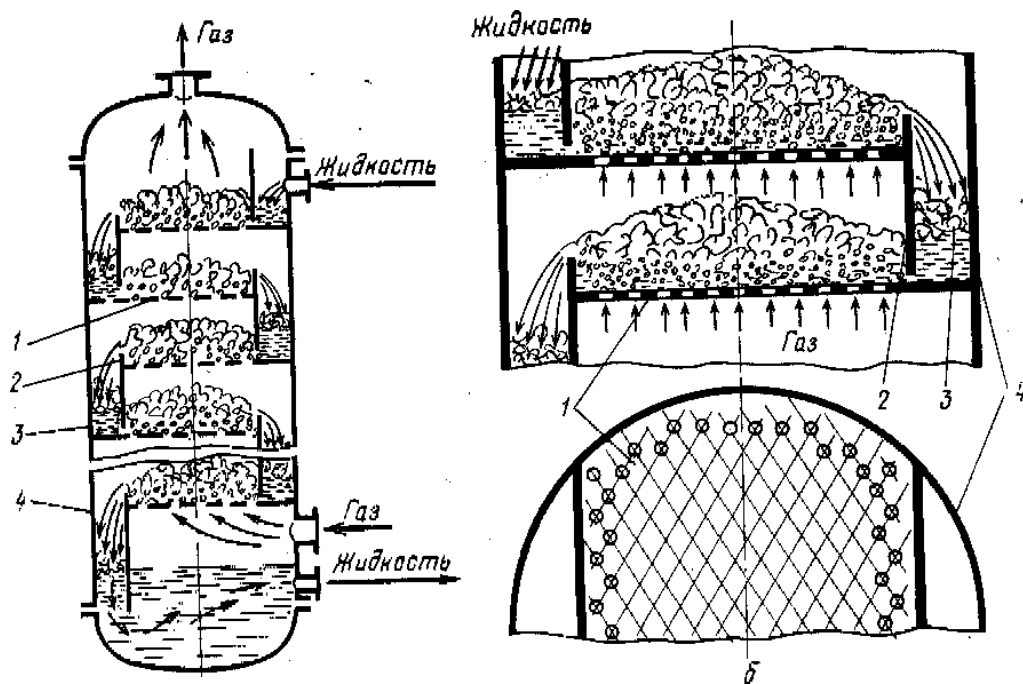


Рис. 2.2 – Колона з сітчастими тарілками.

Газ проходить крізь отвори тарілки й розподіляється в рідині у вигляді дрібних струмків і пухирців. При занадто малій швидкості газу рідина може просочуватися через отвори тарілки на нижче розташована, що повинне призвести до істотного зниження інтенсивності масопередачі. Тому газ повинен рухатися з певною швидкістю й мати тиск, достатній для того, щоб подолати тиск шару рідини на тарілці та запобігти стиканню рідини через отвори тарілки.

Сітчасті тарілки відрізняються простотою обладнання, легкістю монтажу, огляду й ремонту. Гідравлічний опір цих тарілок невеликий. Сітчасті тарілки стійко працюють у досить широкому інтервалі швидкостей газу, причому в певному діапазоні навантажень по газу й рідині ці тарілки мають високу ефективність. Разом з тим сітчасті тарілки чутливі до забруднень і опадом, які забивають отвори тарілок. У випадку раптового



припинення надходження газу або значного зниження його тиску з сітчастих тарілок зливається вся рідина, і для поновлення процесу потрібно знову запускати колону.

## 2.2 Опис холодильника кубового залишку

Холодильник кубового залишку зображено на рис.2.3, він являє собою кожухотрубний теплообмінний апарат. Призначений для охолодження агента.

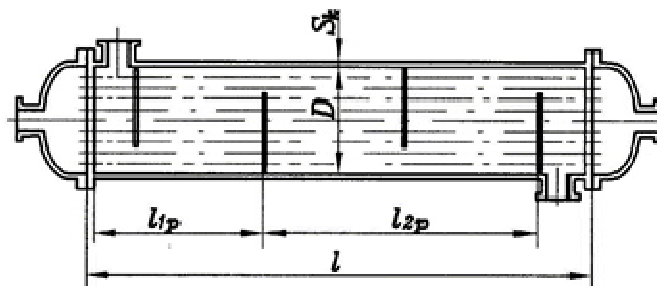


Рис.2.3 – Кожухотрубний теплообмінний апарат (холодильник)

Теплообмінники можуть бути, як горизонтальними так, і вертикальними. Вертикальні теплообмінники більш прості в експлуатації і займають меншу виробничу площу. Горизонтальні теплообмінники виготовляються частіше багатходовими і працюють при великих швидкостях теплообмінних рідин.

У кожухотрубному теплообміннику одне із середовищ рухається в середині труб (по трубному простору), а інше по між трубному простору. Середовища звичайно направляють протитоком один до одного.

Кожух уявляє собою циліндричну обичайку, що виконана з труби. З кінців кожух закритий двома плоскими трубними решітками. У трубних решітках закріплені на розвальцовках теплообмінні труби. Якщо середня різниця температур труб і обичайки у теплообміннику становить значними (приблизно 50), то труби і кожух подовжуються неоднаково. Це викликає

значні напруження у трубній решітці, що може порушити цілість з'єднання труб з решітками, і привести до руйнування зварних швів і змішування рідин. Тому для зменшення температурних деформацій, що обумовлені великою різницею температур труб і обичайки, значною довжиною труб, а також різними матеріалами труб і кожуха використовують лінзовий компенсатор. Така конструкція відрізняється простою конструкцією, але вони не застосовуються при невеликих тисках. Труби в решітках звичайно розміщують рівномірно по периметру правильних шестикутників, тобто по вершинам рівномірних трикутників, рідше застосовують розташування труб по концентричним колам. В окремих випадках, коли необхідно забезпечити зручність чистки зовнішніх поверхонь труб, їх розташовують по периметрам прямокутників. Усі зазначені способи розміщення труб переслідують одну ціль - забезпечити можливість компактного розміщення необхідної поверхні теплообміну всередині апарата. В більшості випадків найбільша компактність досягається при розміщенні трубок по периметрам правильних шестикутників. Труби закріплюють у решітках частіше розвальцюванням, при цьому особливо міцне з'єднання досягається при наявності в трубних решітках отворів з кільцевими канавками, що заповнюються метолом труби, в процесі її розвальцювання. Крім того використовують закріплення труб зварюванням, якщо матеріал труби не піддається витяжки і допустимо міцне з'єднання труб з трубної решітки, а також пайкою, застосовують для з'єднання головним чином мідних та латунних труб. Інколи застосовують з'єднання труб з решіткою за допомогою сальників, що допускають вільне повздовжнє переміщення труб і можливість їх швидкої заміни. Таке з'єднання дозволяє значно зменшити температурну деформацію труб, але є дуже складним, дорогим і недостатньо надійним. Розподільча камера представляє собою кришки, що обмежують корпус апарата по трубному простору з обох торців. Розподільчі камери виконані з'ємними на фланцях, що дозволяє чистити внутрішню поверхню труб. Теплообмінник має також в між трубному просторі поперечні круглі з діаметрально чергуючими у них

сегментними зрізами перегородки, діаметр яких менше внутрішнього діаметру кожуха і які встановлюються на рівній відстані один від одного. Ці перегородки забезпечують рух середовища у міжтрубному просторі поперек труб та поліпшують теплопередачу в ньому, та слугують для останніх одночасно ы проміжними опорами. У міжтрубному просторі теплообмінника перед отворами штуцера, що підводять середовище передбачений відбійник. Відбійник призначений для попередження пошкодження прилягаючих труб від механічного впливу на них поступаю чого потоку робочої рідини та ерозії. Теплообмінник має дві опори, що приварені.

### 3. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ХОЛОДИЛЬНИКА КУБОВОГО ЗАЛИШКУ

Широкий спектр використовуваних в апаратобудуванні матеріалів пояснюється різноманіттям реалізованих у виробі галузі фізико-хімічних процесів і способів виготовлення апаратів, що охоплюють майже всі види обробки: лиття, кування, штампування, обробку тиском, різання, зварювання, хімічну і термічну обробку.

Тому при виборі матеріалу необхідно враховувати цілий комплекс показників, в тому числі міцність, теплопровідність, стійкість до різних видів корозії, вплив матеріалу на робоче середовище, ливарні властивості, зварюваність і т.д. Важливим фактором, що визначає конкурентоспроможність обладнання, є також вартість вихідного матеріалу і його дефіцитність на ринку металів.

Стали. Структура споживання сталей заводами хімічного машинобудування наступна, %:

вуглецеві сталі звичайної якості .....	35
якісні вуглецеві сталі .....	29
низьколеговані конструкційні сталі (Легуючі добавки до 2,5%) .....	12
леговані конструкційні сталі .....	14
корозійностійкі сталі .....	10

Широке використання вуглецевих і низьколегованих сталей пояснюється їх високою пластичністю, здатністю до зварювання, хорошими ливарними

властивостями і здатністю піддаватися кування, штампування і обробці різанням.

З підвищенням вмісту вуглецю знижується пластичність і погіршується зварюваність сталі. Тому вміст вуглецю в сталях не перевищує 1,5%.

Найбільш використовувані марки сталей цієї групи: Ст3, 10, 15, 20, 15x5, 15X5M, 12x13, 12ХМФ, 16ГС, 09Г2С, 15Г2СФ, 09Г2ФБ.

Найбільш поширеною в хімічному машинобудуванні легованої сталлю є сталь Х18Н10Т. Ця сталь добре зварюється і піддається обробці тиском, проте вельми чутлива до наклепу. До того ж класу аустенітних сталей, що застосовуються при виготовленні апаратів, відносяться:

12Х18Н9, 12Х18Н10Т, 03Х18Н11, 08Х18Н12Б, 10Х14Г14Н4Т, 03Х19АГ3Н10, 03Х13АГ19, 10Х17Н13М3Т, 03Х18АГ3Н11М3Б і ін.

Для фосфорної, оцтової і деяких інших кислот застосовується сталь ЕІ-35 (000Х21Н21М4В), для сірчаної та соляної кислот - Х17Н5М3, 0Х22Н5Т, 0Х21Н6М2Т.

Незважаючи на високу вартість для відповідальних апаратів застосовують високолеговані сплави типу "хастелой", наприклад, 0Х15Н55М16В.

В останні роки в апаратобудуванні стали застосовувати низьковуглецеві аустенітні сталі 03Х18Н14 і 03Х17Н14М3, які мають більш високу корозійну стійкість, ніж їх аналоги з нормальним вмістом вуглецю, наприклад, 08Х18Н10Т і 10Х17Н13М3Т. Устаткування з цих матеріалів в 3,5 рази довговічніше. Недолік таких сталей - знижена міцність - може бути усунутий за рахунок введення азоту в кількості до 3%. Освоєно випуск сталі 03Х19АГ3Н10, що має  $\sigma_{тг} = 350$  МПа (у сталі 03Х18Н11 -180 МПа). Галузевими нормативами передбачено використання:

- аустенітних сталей 06ХН28МДТ (ЕІ943), 03Х428МДТ (ЕІ516), ХН65МВ (ЕП567), ХН78Т (ЕІ435), ХН65МВУ (ЕП760), Н70МФВ-ВЧ (ЕП8114А-В);
- двошарових сталей з корозійностійких шаром із сталей марок 08Х13, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, сплаву 06ХН28МДТ.

Чавуни. Являють собою багатоконпонентний сплав заліза з вуглецем та іншими елементами -кремнієм, магнієм, фосфором. Зміст вуглецю в чавунах від 2,8 до 3,7%.

До переваг чавунів відносяться хороші ливарні властивості, низька вартість, добре обробляється різанням, непогані механічні властивості.

Штапування і кування чавунів ні в якому стані неможлива. Чавуни володіють помірною хімічну стійкість до агресивних середовищ.

Поліпшення якостей сірого чавуну досягається модифікування, за рахунок введення Графітізуючі добавок. Такі чавуни мають марку СМЧ, характеризуються однорідністю і дрібнозернистою структурою, підвищену зносостійкість і міцністю при динамічних навантаженнях, а також більшою, ніж у сірих чавунів, хімічну стійкість.

Різновидом модифікованого чавуну є високоміцний чавун марки ВЧ, в який введена добавка магнію або магнієвих лігатур.

Високоміцний чавун витісняє так званий ковкий чавун (з вмістом вуглецю 2,95%).

Широко застосовуються леговані чавуни, хімічна стійкість і жароміцність яких підвищена добавками нікелю, хрому, молібдену та інших елементів.

Високохромисті чавуни з вмістом хрому до 30% стійкі до соляної, фосфорної та інших кислот, добре працюють при температурі до 1200 ° С.

Для виготовлення апаратів і труб, схильних до впливу азотної кислоти, нітратів та інших середовищ застосовують висококремністие чавуни - ферроселіди С-15 ІС-17 і антихлор МФ-15. Незважаючи на стійкість до корозії і дешевизну висококремністие чавуни застосовуються обмежено через погані механічних властивостей (викришування зерен при різанні).

Алюміній. Залежно від чистоти алюміній випускається семи марок. У хімічному машинобудуванні застосовуються марки АОО і АТ з вмістом чистого алюмінію, відповідно, не менше 99,7% і 96,6%.

Алюміній дуже стійкий до дії агресивних середовищ за рахунок утворення щільної захисної плівки з оксидів. Однак, це ускладнює зварювання і пайку цього матеріалу. До негативних якостей такої алюмінію відносяться також його низькі ливарні властивості, мала міцність і погана оброблюваність різанням.

Широке застосування даного матеріалу в апаратобудуванні пояснюється високою теплопровідністю (в 4,5 рази більше, ніж у сталі), малою питомою вагою, високою пластичністю, здатністю штампуватися і прокочуватися.

Часто алюміній використовується в сплаві з іншими елементами. Зокрема застосовують:

а) сплави на основі алюміній-кремній - марки АЛ-2, АЛЧ, АЛЧВ і т.д .;

б) сплави на основі алюміній-мідь - марки АЛ-7, АЛ-7 В і т.д .;

в) сплави на основі алюміній-кремній-мідь - марки АЛ-3, АЛ-3В і т.д .;

г) сплави на основі алюміній-магній - марки АЛ-13, АЛ-22, АЛ-23 і т.д .;

д) сплави на основі алюміній-інші матеріали.

Мідь. У апаратобудуванні в основному застосовують мідь марки М2 і М3 з вміст міді, відповідно, 99,7% і 99,5% чистої міді.

Мідь добре тягнеться, плющиться, штампується, вальці як в гарячому, так і в холодному стані. Добре обробляється різанням. Ливарні властивості міді посередні.

Мідь не утворює захисних плівок і тому не має хімічну стійкість проти більшості кислот і солей. Зате в розчинах лугів мідь дуже стійка, тому вона йде на виготовлення апаратури для харчової промисловості, спиртового обладнання і т.д.

Особливо цінна властивість міді - підвищувати свою міцність при низьких температурах, включаючи область глибокого охолодження, зберігаючи при цьому високу ударну в'язкість.

Титан. Знаходить застосування при виготовленні апаратів, так як має унікальну хімічну стійкість проти багатьох агресивних середовищ. Його міцність майже в 2 рази перевершує сталь при значно меншій питомій вазі. Маючи теплопровідність близьку до неіржавіючих сталей, він добре кується, штампується і задовільно обробляється різанням.

Сварка титану виробляється вольфрамовим електродом в атмосфері аргону.

Цей матеріал стійкий проти всіх видів кислот, в тому числі оцтової і сечовини. Випускається у вигляді листового прокату і труб товщиною 0,5 ... 3 мм.



## 4. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ХОЛОДИЛЬНИКА

**4.1 Розрахунки тарілчастої ректифікаційної колони для розділення суміші сірковуглець - чотирихлористий вуглець продуктивністю 6,0т/год по дистиляту**

### 4.1.1 Вихідні дані

Продуктивність за дистилятом	- 6,0 т/год.
Концентрація метанолу:	
у вихідній суміші	- $a_F = 40,0\%$ (мас.),
в дистиляті	- $a_P = 97,5\%$ (мас.),
в кубовому залишку	- $a_W = 1,8\%$ (мас.).
Температура:	
охолоджуючої води	- 12 °С,
дистиляту після холодильника	- 22 °С,
кубового залишку після холодильника	- 23 °С,
вихідної суміші	- 20 °С.
Тиск насиченої водяної пари	- 5,0 ата.
Коефіцієнт надлишку флегми	- 2,0
Молярні маси:	
сірковуглець	- 76.1 г/моль,
чотирихлористий вуглець	- 153,82 г/моль.
Температури кипіння:	
сірковуглець	- 46°С,
чотирихлористий вуглець	- 76,75°С.
Швидкість руху пару по колоні	- 0,8 м/с.
ККД тарілки	- 0,9.
Відстань між тарілками	- 500 мм.
Діаметр отворів в тарілці	- 20 мм.
Колона працює під атмосферним тиском.	

Вихідна суміш і флегма вводяться в апарат при температурі кипіння.

#### 4.1.2 Визначення продуктивності за вихідною сумішшю і кубовим залишком

Продуктивність колони за вихідною сумішшю визначаємо за формулою:

$$G_D = G_F - G_W = 6000,975 - 3605,02 = 2394,98 \text{ кг/ч} = 0,6654 \text{ кг/с}.$$

Продуктивність колони за кубовим залишком визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_D = 6000 - 2394,98 = 3605,02 \text{ кг/ч} = 1,001 \text{ кг/с}.$$

Перевірка:

$$6000 \cdot 0,4 = 2394,98 \cdot 0,975 + 3605,02 \cdot 0,018$$
$$2400 = 2400$$

#### 4.1.3 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні за формулою:

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

де  $X$  – концентрація низькокиплячого компонента А (сіровуглеця) в бінарній суміші, мол. частки;  $a$  – вміст низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мас. частки;  $M_A$ ,  $M_B$  – молярна маса компонента А і В (відповідно).

Тоді концентрація вихідної суміші:

;

дистиляту:

;

$$x = \frac{M}{M + m} = \frac{0,965}{0,965 + 13} = 0,068$$

кубового залишку:

$$x = \frac{M}{M + m} = \frac{0,018}{0,018 + 153} = 0,000117$$

Мінімальне флегмове число визначаємо графоаналітичним способом. Для цього на підставі дослідних даних в координатах у-х будуємо криву рівноваги для суміші метанол-вода при атмосферному тиску (рис.1) і криву температур кипіння і конденсації (рис.2).

Таблиця 1 - Рівноважні дані для суміші метанол-вода.

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
в рідині (x)	в парі (y)	
0	0,0	76,7
5	13,2	73,7
10	24	71
20	42,3	66
30	54,4	62,3
40	64,5	59
50	72,6	56,1
60	79,1	53,7

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, t, °C
в рідині (x)	в парі (y)	
70	84,8	51,6
80	90,1	49,6
90	95	47,9
100	100,0	46,3

На діаграммі у-х з точки  $(x_p = y_p)$  через точку  $(x_F, y_F^*)$  проводимо пряму лінію до перетину з віссю у. Відрізок, що відсікається на осі у, позначимо через  $B_{\max} = 0,543$ . За величиною цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{x_p}{B_{\max}} - 1 = \frac{98,7}{50} - 1 = 0,974$$

Дійсне флегмове число:

$$R = K_R \cdot R_{\min} = 2,0 \cdot 0,974 = 1,974.$$

На діаграмі у-х наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмового числа  $R = 1,17$  (рис.1): для цього на осі у відкладаємо відрізок  $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,987}{1,948+1} = 0,3348$ , кінець якого з'єднуємо прямою з точкою  $(x_p = y_p)$ ; точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією, проведеної з абсцис  $x_F$ , і точку  $(x_F, y_F)$  з'єднуємо з точкою  $(x_w = y_w)$ . Отримані лінії є робочими лініями для верхньої і нижньої частин колони, відповідно.

кінець якого з'єднуємо прямою з точкою, яка має координати  $(x_D = y_D)$ . Точку перехрестя цієї прямої з вертикальною лінією, яка установлена в точці  $x_F$  вісі абсцис, що має координати  $(x_F, y_F)$ . Та, кінець кінцем, з'єднують с точкою  $(x_w = y_w)$ . Лінії, які є відповідно робочими лініями для верхньої та нижньої частин ректифікаційної колони.

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

##### Рідка фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$x_{cep}^H = \frac{x_W + x_F}{2} = \frac{0,5739 + 0,0357}{2} = 0,3048$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$x_{cep}^6 = \frac{x_F + x_D}{2} = \frac{0,5739 + 0,9874}{2} = 0,7806$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$x_{cep} = \frac{x_{cep}^H + x_{cep}^6}{2} = \frac{0,2748 + 0,7806}{2} = 0,542$$

Середня масова концентрація по колоні:

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{x \text{ сеп}}^H = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{74 + 54}{2} = 64 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{x \text{ сеп}}^e = \frac{t_{XF} + t_{XD}}{2} = \frac{54 + 46}{2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Середня температура по колоні:

$$t_{x \text{ сеп}} = \frac{t_{x \text{ сеп}}^H + t_{x \text{ сеп}}^e}{2} = \frac{64 + 50}{2} = 57 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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

Середня мольна маса:

$$M_{x \text{ сеп}} = M_A \cdot X_{\text{ср}} + M_B \cdot (1 - X_{\text{ср}}),$$

$$M_{x \text{ сеп}} = 76,13 \cdot 0,5277 + 158,84 \cdot (1 - 0,5277) = 112,8324 \text{ кг/кмоль}$$

Середня густина визначається по формулі:

де  $\rho_A$  и  $\rho_B$  – густина компонентів А і В при температурі  $t_{x \text{ сеп}}$ .

$$t_{x \text{ сеп}} = 54 \text{ }^\circ\text{C}; \rho_A = 1522,85 \text{ кг/м}^3, \rho_B = 1204,95 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{x \text{ сеп}} = \frac{1522,85 \cdot 1204,95}{1204,95 \cdot 0,356 + 1522,85(1 - 0,356)} = 1301,68 \text{ кг/м}^3.$$

Середнє значення поверхневого натягу визначається за рівнянням:

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

де  $\sigma_A$  и  $\sigma_B$  – поверхневі натяги компонентів А і В, н/м.

Поверхневий натяг при  $t_{x \text{ сеп}} = 57 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$\sigma_A = 22,37 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}, \sigma_B = 26,935 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

$$\sigma_{x \text{ сep}} = 22,37 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5277 + 26,935 \cdot 10^{-3} (1 - 0,5277) = 24,526 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

Парова фаза.

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{\text{сep}}^{\text{н}} = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,0357 + 0,573}{2} = 0,304 .$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{\text{сep}}^{\text{в}} = \frac{y_F + y_D}{2} = \frac{0,573 + 0,987}{2} = 0,78 .$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{\text{сep}} = \frac{y_{\text{сep}}^{\text{н}} + y_{\text{сep}}^{\text{в}}}{2} = \frac{0,304 + 0,78}{2} = 0,542 .$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y \text{ сep}}^{\text{н}} = 69 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y \text{ сep}}^{\text{в}} = 54,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температури  $t_{y \text{ сep}}^{\text{н}}$ ,  $t_{y \text{ сep}}^{\text{в}}$  знайдені з діаграми  $t - x$ ,  $y$  (рис. 2).

Середня температура по колоні:

$$t_{y \text{ сep}} = \frac{t_{y \text{ сep}}^{\text{н}} + t_{y \text{ сep}}^{\text{в}}}{2} = \frac{69 + 54,2}{2} = 61,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня мольна маса:

$$\begin{aligned} M_{y \text{ сep}} &= M_A \cdot y_{\text{сep}} + M_B \cdot (1 - y_{\text{сep}}) = 76,13 \cdot 0,548 + 18 \cdot (1 - 0,548) = \\ &= 111,25 \text{ кг/кмоль.} \end{aligned}$$

Середня густина:

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

тут  $T = 273 + t_{y \text{ сep}}$ ,  $^\circ\text{C}$ ;  $P = 1 \text{ кгс/см}^2$  (тиск в колоні атмосферний).

$$\rho_{y \text{ сep}} = \frac{111,25}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{334,6} = 3,922 \text{ кг/м}^3 .$$

#### 4.1.5 Визначення діаметру колони

Діаметр колони визначаємо за рівнянням:

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

Витрата пари, яка підіймається колоною, може бути розрахована як:

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y\text{сер}}} = \frac{G_D \cdot (R + 1)}{\rho_{y\text{сер}}} = \frac{2398 \cdot (1,948 + 1)}{3600 \cdot 3,934} = 0,49916 \text{ м}^3/\text{с}$$

Тоді діаметр колони:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} = \sqrt{\frac{0,49916}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,892 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони  $D = 1,0 \text{ м}$  і уточнюємо швидкість пару в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,49916}{0,785 \cdot 1^2} = 0,6358 \text{ м/с}$$



#### 4.1.6 Визначення висоти колони

Число дійсних тарілок, яке забезпечує задану чіткість поділу, визначається за формулою:

$$n_{\text{дійсн}} = \frac{n_{\text{теор}}}{\text{КПД}_{\text{тарілки}}},$$

де  $n_{\text{теор}}$  - число теоретичних тарілок в колоні. Визначається як число ступенів в межах концентрацій  $X_W \div X_P$  на графіку х-у (рис. 1).

В результаті побудови (рис. 1) отримуємо число теоретичних тарілок  $n=15$ , тарілка живлення 4-а знизу. Дійсна тарілка живлення – 5-а знизу.

$$n_{\text{дійсн}} = \frac{n_{\text{теор}}}{\text{КПД}_{\text{тарілки}}} = \frac{15}{0,9} = 16,6 = 17$$

Тоді висота колони

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} = (15 - 1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2,0 = 10,2 \text{ м}$$

#### 4.3. Холодильник кубового залишку

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

$$Q = G_w \cdot c_w' \cdot (t_{XW \text{ п}} - t_{XW \text{ к}}) = G_B \cdot c_B \cdot (t_k - t_n),$$

де  $c_w$  – середня питома теплоємність кубового залишку при його середній температурі  $(t_{XW \text{ п}} - t_{XW \text{ к}})/2$ ;

$t_{W \text{ к}}$  – кінцева температура кубового залишку після холодильника, °С .

$$c_A = 0,239 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; \quad c_B = 0,202 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad \text{при середній температурі}$$

$$t_{\text{сер}} = \frac{t_{XW_n} + t_{XW_k}}{2} = \frac{74 + 23}{2} = 25,5 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad [1, \text{ с. 562}]; \quad \text{таблица 8 Додатку А.}$$

$$c_w' = 0,018 \cdot 0,239 + (1 - 0,018) \cdot 0,202 = 0,2026 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 866,7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q = G_w \cdot c_w' \cdot (t_{XW_n} - t_{XW_k}) = \frac{360502}{3600} \cdot 877,7(74 - 23) = 44245 \text{ Вт.}$$

Витрата охолоджувальної води при нагріві її до температури 15°C в холодильнику кубового залишку:

$$G_B = \frac{Q}{C_B \cdot (t_K - t_H)} = \frac{44245}{4190 \cdot (27 - 12)} = 0,7 \text{ кг/с.}$$

Середня різниця температур при протитечійній схемі руху теплоносіїв:

$$\begin{array}{ccc} 74 \text{ } ^\circ\text{C} & \longrightarrow & 27 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 23 \text{ } ^\circ\text{C} & \longleftarrow & 12 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array}$$

Більша різниця температур:

$$\Delta t_6 = 74 - 27 = 47 \text{ } ^\circ\text{C};$$

менша різниця температур:

$$\Delta t_M = 23 - 12 = 11 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} = \frac{47}{11} = 4,27 > 2$$

Так як  $\frac{\Delta t_6}{\Delta t_M} = 4,27 > 2$ , то середню різницю температур визначають

$$\Delta t_{сер} = \frac{\Delta t_{\bar{\sigma}} - \Delta t_{\mathcal{M}}}{\ln(\Delta t_{\bar{\sigma}} / \Delta t_{\mathcal{M}})} = \frac{47 - 11}{\ln(47/11)} = 24,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Приймають орієнтовно коефіцієнт теплопередачі  $K=400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$  [7, с. 47], тоді поверхня теплообміну холодильника кубового залишку складе

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{сер}} = \frac{44245}{400 \cdot 24,8} = 4,46 \text{ м}^2.$$

Вибирають одноходовий кожухотрубчастий теплообмінник із наступними характеристиками [7, с. 51]:

- діаметр кожуха 273 мм;
- труба  $\text{Ø } 25 \times 2$  мм;
- кількість труб в теплообміннику 37 шт.;
- довжина труб 1,5 м;
- поверхня теплообміну  $3 \text{ м}^2$ .

## 6 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ХОЛОДИЛЬНИКА КУБОВОГО ЗАЛИШКУ

### 6.1 Вихідні дані

Тип апарата — теплообмінник ТНГ

Діаметр кожуха $D$ , мм	273
Довжина теплообмінних труб $l$ , мм	1500
Зовнішній діаметр теплообмінної труби $d_m$ , мм	25
Товщина стінки труби $S_m$ , мм	2
Число ходів по трубах	2
Розрахунковий тиск у трубному просторі, МПа	0,5
Розрахунковий тиск у міжтрубном просторі, МПа	0,05
Розрахункова температура труб, °С	74
Розрахункова температура кожуха, °С	23
Матеріал кожуха, трубних решіток, труб	10X17H13M2T
Матеріал кришки СтЗсп	
Матеріал прокладки кожуха	пароніт
Середовище в трубному просторі	Взривопожегобезпечне, 4 класу небезпеки
Середовище в міжтрубном просторі	Взривопожегобезпечне, 2 класу небезпеки

*Теплообмінник*

## 6.2 Розрахунки на міцність дефлегматора

### Розрахункова температура

Розрахункова температура розподільної камери:

$$t_{кам} = 2 t_m - t_k \quad (6.1)$$

$$t_{кам} = 2 \cdot 74 - 23 = 125 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункова температура ізольованих фланців:

$$t_{\phi} = t_k \quad (6.2)$$

де  $t_k$  – розрахункова температура апарата,  $^\circ\text{C}$ .

Розрахункову температуру ізольованих апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери дефлегматора приймаємо рівній температурі розподільної камери, тобто  $t_{\phi} = t_{кам} = 125 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Розрахункову температуру ізольованих фланців штуцерів кожуха ухвалюємо рівній температурі середовища міжтрубного простору, тобто

$$t_{\phi} = t_k = 23 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів ізольованих фланцевих з'єднань:

$$t_b = 0,97 \cdot t \quad (6.3)$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань корпусів і фланців штуцерів розподільної камери дорівнює

$$t_b = 0,97 \cdot t_{кам} = 0,97 \cdot 125 = 121,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

$$t_b = 0,97 \cdot t_k = 0,97 \cdot 23 = 23,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### Допустиме напруження.

Допустимі напруги при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  і при температурі  $20^\circ\text{C}$   $[\sigma]_{20}$ , МПа, для матеріалів елементів апарата наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 Допустимі напруження матеріалів елементів холодильника кубового залишку.

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напруження, МПа		Відношення допустимих напружень, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі 20 °С, $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі, $[\sigma]$	
Кожух	10X17H13M2T	184	160	1,15
Трубні решітки	10X17H13M2T	184	160	1,15
Труби	10X17H13M2T	184	160	1,15
Фланці апаратні	10X17H13M2T	184	160	1,15
Фланці штуцерів трубного простору	10X17H13M2T	184	160	1,15
Фланці штуцерів кожуха	10X17H13M2T	184	160	1,15
Болти й гайки апаратних фланців і штуцерів трубного простору	10X17H13M2T	184	160	1,15
Болти й гайки фланцевих з'єднань штуцерів кожуха	10X17H13M2T	184	160	1,15

Пробний тиск, при якому проводиться випробування апарату, визначаємо по формулі:

$$P = 1,25 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (6.4)$$

Відношення  $[\sigma]_{20}/[\sigma]$  ухвалюємо по тим з використаних матеріалів елементів кожної порожнини апарата, для яких воно є найменшим.

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружень  $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,016$  пробний тиск становить

$$P_{пр.т} = 1,25 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,5 \cdot 1,15 = 0,718$$

Рис. 6.4 - Кожухотрубчастий теплообмінний апарат.

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору дефлегматора становить

$$P_{г.тп} = \rho_{в} \cdot g \cdot H_T \cdot 10^{-6}, \quad (6.5)$$

де  $H_T = 0,726$  м [13]- висота стовпа води в трубному просторі

$$P_{г.тп} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,26 \cdot 10^{-6} = 0,002 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{гтп} = 0,002 \text{ МПа} < 0,05 P_{прт} = 0,05 \cdot 0,718 = 0,035 \text{ МПа}$$

становить менш 5% від пробного, тому за розрахунковий тиск в умовах випробувань ухвалюємо пробне

$$P_{ум} = P_{прт} = 0,718 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{л.тп} = 0,718 \text{ МПа} \leq 1,35 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,5 \cdot 1,15 = 0,77$$

виконується, тому розрахунки елементів трубного простору в умовах гідравлічних випробувань проводити не потрібно.

Для міжтрубного простору (кожуха) при відношенні допустимих напружень  $[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1,15$  пробний тиск становить:

$$P_{прк} = 1,25 \cdot P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (6.6)$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{г.тп} = \rho_{в} \cdot g \cdot H_{к} \cdot 10^{-6}, \quad (6.7)$$

де  $H_{к} = 0,54м$  [13]

$$P_{г.тп} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,54 \cdot 10^{-6} = 0,010 \text{ МПа}$$

$$P_{2к} = 0,010 \text{ МПа} < 0,05 \cdot 0,071 = 0,005 \text{ МПа}$$

$$P_{ук} = P_{пк} = 0,081 \text{ МПа}$$

Умова

виконується, тому розрахунки елементів міжтрубного простору в умовах гідравлічних випробувань проводити не потрібно.

#### Коефіцієнти міцності зварених швів

Трубний простір дефлегматора по розрахунковому тискові, температурі і характеру робочого середовища відносяться до 4 групи судин, для яких довжина контрольованих швів становить не менш 25 % від їхньої загальної довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварених швів ухвалюємо рівним  $\varphi_p = 0,9$  [14].

Міжтрубний простір дефлегматора по розрахунковому тискові, температурі і характеру робочого середовища відносяться до 1 групи судин, для яких довжина контрольованих швів становить не менш 100 % від їхньої загальної довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварених швів ухвалюємо рівним  $\varphi_p = 1$  [14].

Для стикових (кільцевих) швів, які доступні зварюванню лише з однієї сторони і мають у процесі зварювання металеву підкладку з боку кореня шва, яка прилягає по всій довжині шва до основного металу, при контрольованій довжині швів 100 %, коефіцієнт міцності зварених кільцевих швів кожуха ухвалюємо рівним  $\varphi_m = 0,8$  [14].

#### Добавки до розрахункових величин



Суми добавок до розрахункових величин визначаємо по формулі:

$$C = C_1 + C_2, \quad (6.8)$$

де  $C_1$  - добавка для компенсації корозії і ерозії, мм;

$C_2$  - добавка для компенсації мінусового допуску, мм.

Добавку для компенсації корозії і ерозії  $C_1$  розраховуємо по формулі:

$$C_1 = P \cdot \tau + C_3, \quad (6.9)$$

де  $P$  - швидкість проникнення корозії;

$\tau = 10$  років - розрахунковий термін служби холодильника;

$C_3$  - добавка для компенсації ерозії, мм.

Добавку для компенсації ерозії не враховуємо, ухвалюючи, що дефлегматор працює із чистими рідкими середовищами (без твердих абразивних часток)

Швидкість проникнення корозії для матеріалу міжтрубного простору ухвалюємо  $P_k = 0,05$  мм/рік, а трубного -  $P_m = 0$  мм/рік.

Добавка для компенсації корозії становить:

- для труб з боку трубного і міжтрубного просторів

$$C_{1m} = 0 \text{ мм}$$

- для кожуха

$$C_{1k} = P_k \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм}$$

Добавку для компенсації мінусового допуску  $C_2$ , мм, ухвалюємо по стандарту [14].

### 6.3 Розрахунки кожуха холодильника кубового залишку

Розрахункову товщину стінки кожуха від дії внутрішнього тиску визначаємо по формулі:

$$S_{pk} = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \phi_p - P_k} \quad (6.10)$$

де  $P_k$  – розрахунковий тиск у міжтрубном просторі дефлегматора при розрахунковій температурі, МПа;

$D = 273$  мм - внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

$\phi_p$  - коефіцієнт міцності поздовжніх зварених швів.

$$S_k = \frac{0,05 \cdot 273}{2 \cdot 160 \cdot 1 - 0,05} = 0,04$$

Відповідно стандарту [14] виконавчу товщину стінки кожуха ухвалюємо рівною  $S_k = 6$  мм. Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевого листа товщиною 6 мм становить  $C_2 = 0,5$  мм. Добавку

$$C_2 = 0,6 \text{ мм} > 0,05 \cdot S_k = 0,05 \cdot 6 = 0,3 \text{ мм}$$

ураховуємо, так як вона перевищує 5 % від номінальної товщини листа. Сума добавок до розрахункової товщини стінки кожуха становить

$$C_k = C_{1k} + C_{2k} = 0,5 + 0,6 = 1,1 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо по формулі:

$$S_k > S_{pk} + C_k \quad (6.11)$$

$$S_k = 0,04 + 1,1 = 1,14 \text{ мм.}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки кожуха рівної  $S_k = 4$  мм.

Припустимий внутрішній надлишковий тиск у кожусі визначаємо по формулі:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (6.12)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 160 \cdot 0,9 \cdot (6 - 1,1)}{273 + (6 - 1,1)} = 5,07 \text{ МПа}$$

Умова міцності

$$P_K = 0,05 \leq [P]_K = 5,07 \text{ МПа} \quad \text{виконується.}$$

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{6 - 1,1}{273} = 0,017 \leq 0,1$$

виконується.

#### 6.4 Визначення товщини трубних решіток

Товщину трубних решіток ухвалюємо рівною 20 мм із наступною перевіркою на міцність і твердість.

Розрахунковий тиск визначаємо по формулі

$$P = \max\{|P_m|; |P_K|; |P_m - P_K|\} \quad (6.13)$$

$$P = \max\{0,5; 0,05; |0,5 - 0,05|\} = 0,5 \text{ МПа.}$$

Розрахункову товщину трубних решіток за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо по формулі:

$$S_{pp} = 0,5 \cdot D_e \sqrt{P / [\sigma]_p}, \quad (6.14)$$

де  $D_e = 34 \text{ мм}$  [13] – діаметр окружності, уписаної в максимальну безтрубну зону, визначаємо конструктивно.

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 34 \sqrt{\frac{0,5}{160}} = 0,95 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину трубних решіток за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо по формулі

$$S_p > S_{pp} + C_p = 0,95 + 1, = 2 \text{ мм}$$

Ухвалюємо  $S_p = 25 \text{ мм}$ .

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначаємо по формулі

$$\phi_p = 1 - d_0 / t_p \quad (6.15)$$

$$\phi_p = 1 - \frac{25,15}{32} = 0,214$$

Розрахункову товщину трубних решіток у перерізі канавки під поздовжною перегородку визначаємо по формулі

$$S_{np} = S_{pp} \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_n} \cdot \left( \frac{t_n}{t_p} - 1 \right)}; \sqrt{\phi_p} \right\} \quad (6.16)$$

Товщина трубних решіток у перерізі під поздовжною перегородку в розподільній камері повинен бути не менше

$$S_n > S_{np} + C_p = 0,439 + 1,1 = 1,53 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань ухвалюємо товщину трубних решіток у перерізі канавки під поздовжною перегородку в розподільній камері рівної 18 мм.

## 7. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛООБМІННИКА

### 7.1 Виготовлення обичайки

Обичайки діаметром до 1000 мм мають виготовлятися не більш, ніж з двома поздовжніми швами, а понад 1000 мм – з листів максимально можливої довжини, причому вставки допускаються завширшки не більше 400 мм для апаратів першої–четвертої груп і не менше 200 мм – для апаратів п'ятої групи згідно з ГСТУ 3-17-191–2000. Допускається виготовлення обичайок вальцюванням карт, зварених у плоскому положенні з кількох листів. Ширина листів між кільцевими швами має бути не меншою за 800 мм, а ширина замикальної вставки – не менша від 400 мм. У суміжних листах допускають поперечні (у напрямку вальцювання) шви (рис. 2.8, а) (ці шви стають поздовжніми після надання плоскій заготованці остаточної форми обичайки) за умови їх зміщення відносно один одного на величину трикратної товщини найбільш товстого елемента, але не менше ніж на 100 мм між осями швів (для посудин і апаратів першої–четвертої груп згідно з ГСТУ 3-17-191–2000). Обичайки, вальцьовані в картах, допускається виготовляти з перехресними зварними швами (рис. 2.8, б). Рис. 2.8. Схеми розміщення зварних швів в обичайці, звареній з окремих листів (а) та обичайки, вальцьованої в картах (б) Відхил довжини розгортки кола взаємостикованих обичайок має бути таким, щоб зміщення крайок В листів (рис. 2.9), яке вимірюють по середині поверхні, у стикових з'єднаннях, що визначають міцність посудини або апарата, не повинно перевищувати 0,1s, але не більше 3 мм. Зміщення крайок у кільцевих швах, виконуваних електрошлаковим зварюванням, не повинно перевищувати 5 мм. Обичайки різної форми виготовляють частіше на валкових листозгинальних машинах і значно рідше – на пресах у штампах. Виготовлення обичайок ручним способом, а також місцеве нагрівання й виправлення молотом не допускаються. Обичайки зазвичай формують у холодному стані, рідше – у

гарячому. У разі вальцювання обичайок у холодному стані пластична деформація призводить до залишкових напружень і наклепу, для зменшення яких обичайку зазвичай піддають термічному обробленню. Мінімально допустимий внутрішній діаметр обичайки для виготовлення її без нагрівання дорівнює сорока товщинам листа:  $D_{\min} = 40s$ . У разі вальцювання обичайок у гарячому стані (з підігрівом) листову заготовку з вуглецевих сталей підігрівають до 930...950 °С, а з легованих – до температури окалиноутворення. Закінчувати гаряче гнуття слід за температури не нижчої за 600 °С для вуглецевих сталей і 700...750 °С – для легованих. Для гнуття обичайок застосовують дво-, три-, чотири- і п'ятивалкові листозгинальні машини. При цьому найменший діаметр обичайки становить приблизно 1,3 діаметра верхнього валка машини (тобто валка, який наприкінці процесу охоплює zdeформована листова заготовка).

## **7.2 Виготовлення днищ**

Технічні вимоги до днищ сталевих зварних посудин і апаратів хімічних та споріднених виробництв визначають ГСТУ 3-17-191–2000. Основні розміри плоских днищ посудин і апаратів, призначених для роботи під налив, мають відповідати ГОСТ 12622–78 або ГОСТ 12623–78. Плоскі днища посудин і апаратів, призначених для роботи під тиском, мають виготовлятися з поковок (як виняток у цьому випадку можуть застосовуватися плоскі відбортовані днища, які виготовляють штампуванням з листового прокату). Основні розміри конічних відбортованих днищ мають відповідати ГОСТ 12619–78, а конічних невідбортованих днищ, призначених для посудин і апаратів, які працюють під налив або під тиском до 0,07 МПа – ГОСТ 12620–78 і ГОСТ 12621–78. Конічні невідбортовані днища або переходи допускається застосовувати для посудини і апаратів, які працюють під тиском, якщо центральний кут при вершині конуса не більший за 45°, а також для посудини і апаратів, які працюють під зовнішнім тиском або вакуумом, якщо цей кут не більший за 60°. Сферичні невідбортовані днища (кульовий

сегмент) допускається застосовувати в посудинах, які працюють під тиском, що не перевищує 0,07 МПа або під налив. При цьому радіус сфери  $R$  має задовольняти нерівність  $0,85 \leq R \leq D$ . Основні розміри еліптичних днищ мають відповідати ГОСТ 6533–78.

### **7.3 Виготовлення фланців**

У технологічному обладнанні хімічних виробництв для різноманітного сполучення його елементів найбільшого поширення набули фланцеві з'єднання. За допомогою фланців між собою з'єднуються корпусні деталі посудин і апаратів (корпус з накривкою, корпус з розподільною камерою, царги колонного апарата між собою та з накривкою), елементи трубопроводів, а також трубопроводи, трубопровідна й запобіжна арматура та прилади, які приєднують до обладнання. Фланцеві з'єднання забезпечують міцність, жорсткість і герметичність різноманітного з'єднання, дають змогу швидко складати або розбирати обладнання, сполучних частин і трубопроводів. Стандартизацію двох основних груп фланців здійснено на міждержавному рівні: сталевих і чавунних фланців для арматури, сполучних частин і трубопроводів (ГОСТ 12815–80, ГОСТ 12816–80, ГОСТ 12819–80, ГОСТ 12820–80, ГОСТ 12821–80 і ГОСТ 12822–80), а також сталевих фланців для з'єднання корпусних частин посудин і апаратів (ГОСТ 28759.1–90, ГОСТ 28759.2:2008, ГОСТ 28759.3:2008, ГОСТ 28759.4:2008 і ГОСТ 28759.5–90). Найбільшого поширення в хімічному апарато- й машинобудуванні набули приварні (плоскі приварні та приварні в стик) і вільні на приварному кільці сталеві фланці. Переваги плоских приварних фланців – простота конструкції й виготовлення, недоліки – невисока жорсткість і утворення напливів поблизу отворів під болти або шпильки після зварювання. Ці недоліки повністю усуваються конструкцією більш міцних і жорстких приварних у стик фланців, але їх вартість і металомісткість набагато вищі. Переваги вільних фланців на приварному кільці – вільна орієнтація навколо його осі (осі патрубку або труби) і належні

умови експлуатації за високої температури, недолік – більша, порівняно з приварними, товщина фланця. Детально питання конструювання та умов застосування фланців і фланцевих з'єднань розглянуто в навчальному посібнику. Як заготовки для виготовлення фланців використовують поковки, штамповані елементи, листовий, квадратний і штабовий прокати, фасонні профілі прокату й бандажні заготовки. При цьому приварні в стик фланці мають виготовлятися з поковок, штамповок або бандажних заготовок. Допускається виготовлення фланців приварних у стик вальцюванням по площині листа для посудин і апаратів, які працюють під тиском не більшим. Фланцеве з'єднання – це з'єднання складових частин виробу із застосуванням фланців (ДСТУ 2390–94). Фланець – це з'єднувальна частина труб, арматури, посудин, апаратів тощо, яка являє собою зазвичай плоске кільце або диск з рівномірно розміщеними отворами для проходу болтів або шпильок. 57 від 2,5 МПа й за температури від мінус 40 до 200 °С (поздовжня вісь фланця має збігатися з напрямом вальцювання листової заготовки), або гнуття кованих штаб для посудин і апаратів, які працюють під тиском не більшим від умовного тиску 6,3 Мпа. Допускається виготовлення фланців, приварних у стик, з внутрішнім діаметром не більшим ніж 200 мм методом точіння із сортового прокату. Плоскі фланці допускається виготовляти зварними з частин за умови виконання зварних швів з повним проварюванням по всьому перерізу фланця. Допускається розміщувати отвори на зварних швах. Якість радіальних зварних швів фланців має бути перевірена радіаційним методом або ультразвуковою дефектоскопією в обсязі 100 %. Вибираючи спосіб виготовлення заготовки для фланця, потрібно враховувати матеріал і розміри фланця, коефіцієнт використання металу, трудомісткість виготовлення та інші фактори.

#### **7.4 Виготовлення трубних решіток**

Однією з основних деталей кожухотрубних теплообмінників (а також грійних камер випарних апаратів, кубів-кип'ятильників ректифікаційних



колон та інших апаратів) є трубні решітки – деталь з отворами для встановлення й закріплення в них теплообмінних труб.

Крок отворів для теплообмінних труб: 21 мм – для труб діаметром 16 мм; 26 мм – для труб діаметром 20 мм; 32 мм – для труб діаметром 25 мм; 48 мм – для труб діаметром 38 мм; 70 мм – для труб діаметром 57 мм. Відхил відстані між центрами двох сусідніх отворів у трубних решітках не має перевищувати  $\pm 0,5$  мм і будь-якої суми кроків  $\pm 1,0$  мм. Шорсткість поверхонь отворів під теплообмінні труби в трубних решітках має відповідати вимогам ОСТ 26-02-1015–85. Гострі країки в трубних решітках мають бути притуплені фаскою розміром 0,5...3 мм. Ущільнювальні поверхні трубних решіток мають бути гладкими й рівними без поперечних рисок, забоїн, пор і раковин. Допускається виготовлення трубних решіток, зварених з частин, якщо розміри листової сталі або поковок не дають змоги виготовляти трубну решітку суцільною без зварних швів. При цьому решітки діаметром до 1600 мм потрібно виготовляти не більше, ніж з трьох частин, а діаметром понад 1600 мм – не більше, ніж з чотирьох частин. Вставки мають бути щонайменше 400 мм. Перетин зварних швів не допускається (рис. 2.52). Після зварювання частин трубної решітки й наступного термічного оброблення на токарнокарусельному верстаті обточують зовнішній діаметр решітки, за потреби підрізають торець (для усунення опуклості зварних швів і досягнення потрібної товщини решітки) і знімають фаски. У разі суміщення трубної решітки з фланцем оброблюють ущільнювальну поверхню фланця. Особливістю розмічання частин зварних трубних решіток, на відміну від суцільних, є доцільність виключення попадання отворів у зони зварних швів (хоча ця умова є бажаною, а не обов'язковою). Для розмічання під свердління отворів центральні осі решітки наносять обов'язково перпендикулярно до зварних швів, а місця, які не підлягають свердлінню, фарбують крейдовою сумішшю. Крім того, для подальшого свердління встановлюють заглушки в ті втулки кондукторної плитки, крізь які видно пофарбовані крейдою місця решітки (для запобігання браку під час

свердління). На зварних швах решіток допускається розміщувати отвори за умови контролю зварних швів радіаційним методом або ультразвуковою дефектоскопією. Для точного збігу отворів у відповідних решітках їх свердлять попарно в складеному вигляді, повернувши сторонами, які в робочому положенні будуть обернені одна до одної, з обов'язковим суміщенням центрових ліній. Рис. 2.52. Схема трубної решітки, звареної з чотирьох частин 65

Спосіб базування кондуктора залежить від конструкції решітки й самого кондуктора. Якщо решітка має центральний отвір, то кондуктор фіксують штирем по цьому отвору (у разі суміщених осей решітки й кондуктора). Кондуктор закріплюють прихоплювачем, заглушують непотрібні для свердління втулки, після чого свердлять два найбільш віддалені від центра отвори і в них установлюють штирі. Далі по кондуктору свердлять інші отвори. Повернувши кондуктор (якщо його зроблено у вигляді сектора) на потрібній кут, повторюють усі розглянуті операції. Якщо решітка не має центрального отвору, то свердлять по два базові отвори на кожну установку кондуктора (іноді допускається свердління центрального отвору з наступним його заварюванням). Свердління решіток з корозієстійкої сталі загальною товщиною меншою за 120 мм, а також з вуглецевої сталі загальною товщиною меншою ніж 150 мм виконують разом, а зенкерування кожної решітки – окремо. Якщо загальна товщина обох решіток більша від указаних величин, то свердлять лише верхню решітку та одночасно зацентровують на глибину конуса свердла другу решітку. Потім знімають першу решітку та свердлять другу, після чого зенкерують окремо кожну решітку. За потреби в отворах розточують кільцеві канавки. Діаметри отворів у трубних решітках під теплообмінні труби становлять: для труб діаметром 20 мм – діаметр отворів 20,5 мм, труб 25 мм – 25,5 мм, труб 38 мм – 38,7 мм, а труб 57 мм – 58 мм. Для прискорення свердління отворів використовують багатошпindelні свердлильні головки, зокрема й з числовим програмним керуванням. У разі суміщення трубної решітки з фланцем після виконання отворів під теплообмінні труби виконують отвори під болти (шпильки).

## **7.5 Монтаж теплообмінника**

Монтаж теплообмінника слід виконувати в наступному порядку:

- встановити теплообмінник на горизонтальну поверхню на місці згідно з проектом;
- зняти захисні прокладки фланців, за їх наявності;
- перевірити відсутність ушкоджень теплообмінника, які могли виникнути при транспортуванні;
- перевірити затягування стяжних болтів, при цьому розмір А повинен відповідати паспортним даним, а непаралельність плит не повинна перевищувати 0,3% розміру D;
- виконати підключення трубопроводів обв'язки теплообмінника згідно з проектом, при цьому повинна бути виключена можливість передачі зусиль від теплового подовження трубопроводів на корпус теплообмінника.

Для підвищення надійності роботи рекомендується встановити фільтри на вході середовищ в теплообмінник, що запобігають потраплянню дрібних частинок в канали.

## **7.6 Випробування обладнання**

Усе теплообмінні труби мають бути піддані гідравлічним випробуванням на підприємстві-виготовнику. При відсутності в сертифікатах даних про гідравлічні випробування підприємство-виготовник теплообмінних апаратів зобов'язано провести вибіркові гідравлічні випробування відповідно до вимог ГОСТ 3845-75 по 3 % труб від кожної партії, але не менше 5 труб. При отриманні незадовільних результатів хоча б однієї з труб проводять повторні випробування на подвійній кількості труб, взятих із тієї ж партії.

Результати повторних випробувань є остаточними. При отриманні незадовільних результатів повторних випробувань треба провести гідравлічні випробування усієї партії труб.

Гідравлічні випробування на міцність та герметичність кріплення труб в трубних решітках здійснюється пробним тиском, який визначається галузевим стандартом.

Якщо умовний тиск для кожуха менше умовного тиску для трубного простору, випробування герметичності здійснюється повітрям, гасом, галоїдами, гелієм, хладоном, аміаком тощо. Якщо товщина трубної решітки розрахована на перепад тиску між трубним та міжтрубним просторами, умови гідравлічного випробування та випробування на герметичність кріплення труб в трубних решітках повинні проводитись відповідно до вимог галузевого стандарту.

Зварний шов приварення трубної решітки до фланця та кожуха в апаратах з трубним пучком, який не витягається з кожуха, має бути перевірений радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією по всій його довжині.

У випадку недоступності шва або окремих його ділянок для перевірки радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією метод контролю вибирається за РД 26-11-01-85.

Кожний перетік середовища в трубному просторі від одного кінця теплообмінника до другого є ходом. Змінюючи число ходів, можна змінювати швидкість руху середовища усередині труб.

Гідровипробування проводиться водою. При заповненні теплообмінника водою, повітря повинне бути цілком вилучене.

Для гідровипробування теплообмінника застосовується вода з температурою не нижче  $+5^{\circ}\text{C}$  і не вище  $+40^{\circ}\text{C}$ .

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 підігрівана, а також трубопроводів в межах теплообмінника приймають:

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

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

Час витримки теплообмінника під пробним тиском залежить від товщини стінки апарата і складає 10 хвилин.

Після витримки теплообмінника під пробним тиском, його знижують до розрахункового, при якому проводиться огляд зовнішньої поверхні теплообмінника, усіх його роз'ємних і зварних сполук.

## **8 РЕМОНТ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ**

### **8.1 Планово-попереджувальні ремонти для теплообмінного обладнання**

У сучасних умовах при швидко зростаючому рівні механізації й автоматизації виробничих процесів питання забезпечення належного стану обладнання, правильного догляду за ним, своєчасного й якісного ремонту набувають усе більше значення.

Для виключення значних втрат у виробництві, пов'язаних з несправністю технологічного й енергетичного устаткування, необхідно приділяти належну увагу організації технічного обслуговування й ремонту устаткування, роботі ремонтних служб підприємства.

Система планово-попереджувального ремонту. Прийнята в хімічній промисловості, система технічного обслуговування й ремонту устаткування базується на комбінації технічного обслуговування й планово-запобіжних ремонтів.

Планово-запобіжні ремонти (ПЗР) проводять по Методу планово-періодичних ремонтів для основного устаткування й післяоглядових ремонтів (ремонт за технічним станом) для допоміжного обладнання.

Розподіл на основне або допоміжне устаткування умовно залежить від конкретних умов експлуатації даного устаткування й ступені його впливу на одержання кінцевого й проміжного продукту. Звичайно до основного відносять устаткування, призначене для проведення основних хімікотехнологічних процесів і одержання цільового продукту.

Вихід з ладу основного устаткування приводить до зупинки технічної лінії (установки) або різкому зниженню її продуктивності.

Сутність планово-періодичного ремонту полягає в тому, що ремонти всіх видів планують і виконують в строго встановлені ремонтними нормативами строки. Сутність ремонту по технічному стану (метод

післяоглядових ремонтів) полягає в тому, що види й строки ремонту планують на основі відомостей про технічний стан устаткування, отриманих при проведенні періодичного технічного обслуговування.

Система ПЗР устаткування підприємств хімічної промисловості передбачає поточний і капітальний ремонт.

Поточний ремонт виконують для забезпечення або відновлення працездатності устаткування; він полягає в заміні або відновленні окремих складальних одиниць і деталей обладнання. Поточні ремонти включають: операції періодичного технічного обслуговування; роботи із заміни або відновлення швидкозношуваних деталей і складальних одиниць; ремонт футеровки й захисного покриття; фарбування; перевірку кріпильних з'єднань й заміну вишедших з ладу деталей; заміну набивки сальників і прокладок, ревізію арматур, очищення, промивання й ревізію механізмів; зміну масла в мастильних системах, перевірку на точність і ін.

Капітальний ремонт виконують для відновлення справності й повного або близького до повного відновлення ресурсу устаткування із заміною або відновленням будь-яких його елементів, включаючи базові. При капітальних ремонтах виконують, як правило, роботи з модернізації устаткування й впровадженню нової техніки.

Обсяг капітального ремонту й докладний перелік робіт встановлюються відомістю дефектів. Типові роботи при капітальному ремонті: заходи в обсязі поточного ремонту; повне розбирання, очищення й промивання ремонтуємого устаткування; заміна й відновлення всіх зношених деталей і вузлів, включаючи базові; повна або часткова заміна ізоляції, футеровки й ін.; складання, вивірка, регулювання й центрування встаткування; фарбування й післяремонтне випробування. При капітальному ремонті усувають дефекти устаткування, виявлені як у процесі експлуатації, так і при проведенні ремонту.

ПЗР обладнання проводять на основі ремонтних нормативів, певних для машин і устаткування різних типів. Ці нормативи визначають:

міжремонтний період; тривалість простою в ремонті з розбивкою на підготовчий, ремонтний і заключний періоди (у годинах); трудомісткість ремонту (у осіб/год). Міжремонтний період визначає час роботи обладнання між двома послідовно проведеними ремонтами і є основою для розробки такого показника системи планово-запобіжного ремонту, як структура ремонтного циклу. Загальне число робочих годин устаткування умовно прийнято 720 год на місяць, 8640 год у рік. Залежно від умов роботи виробництва й з обліком технічного стану обладнання допускаються наступні відхилення від нормативу міжремонтного періоду: + 15 % між поточними ремонтами; + 10 % між капітальними ремонтами. Тривалість простою обладнання в ремонті обчислюють із моменту відключення устаткування до моменту здачі відремонтованого обладнання експлуатаційному персоналу й виводу встаткування на робочий режим і включає час проведення підготовчих, ремонтних і заключних робіт. До підготовчих робіт належать зупинка встаткування, скидання тиску, вивід продукту, продувка, промивання, нейтралізація, установлення заглушок і ін. Підготовчі роботи завершують здачею обладнання ремонтному персоналу. Тривалість власне ремонтних робіт - це період від моменту приймання обладнання в ремонт до моменту здачі відремонтованого встаткування експлуатаційному персоналу, включаючи час випробувань на міцність і щільність і обкатування вхолосту.

До заключних робіт належать підготовка, пуск устаткування в експлуатацію й вивід його на робочий режим.

## **8.2 Підготовчі роботи перед проведенням ремонту**

Підготовка устаткування до ремонту впливає на повноту усунення дефектів, а також на кількість ремонту. Крім того, правильна підготовка встаткування до ремонту досить важлива для забезпечення безпеки персоналу, зайнятого на ремонтних роботах. Послідовність і зміст операцій по виводу працюючого встаткування в ремонт обмовляється в технологічних



інструкціях.

Устаткування виводиться з роботи в плановому порядку обслуговуючим персоналом за вказівкою особи відповідального за його стан і безпечну експлуатацію. Потім його від'єднують від діючих трубопроводів і від іншого встаткування установкою заглушок. Заглушки встановлювані у фланцевих роз'єднаннях, виготовляють відповідно до вимог норм із пофарбованими в червоні кольори хвостовиками, із вказівкою привласнених номерів,  $D_y$  та  $P_y$ .

Установка заглушок записується у вахтовому журналі із вказівкою номера, місця й часу установки й прізвища виконавця. Так само реєструється й зняття заглушок.

Теплообмінник готують до ремонту в такий спосіб. Доводять тиск у теплообміннику до атмосферного, видаляють робоче середовище, після чого його пропарюють водяною парою, що витісняє пари, що залишилися в теплообміннику, і газів. Після пропарювання теплообмінник промивають водою. У деяких випадках пропарювання й промивання чергують кілька разів.

Підготовленість устаткування підтверджується в наряді-допуску, що видається ремонтній бригаді.

Після закінчення провітрювання варто зробити аналіз повітря, взятого з різних порожнин теплообмінника. До робіт усередині теплообмінника дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і пари не перевищує гранично припустимих санітарних норм.

### **8.3 Розбирання апарата, виявлення й усунення дефектів**

Ремонт посудини роблять за технологією, розробленою ремонтною організацією до початку виконання ремонтних робіт. Всі види ремонтів повинні виконуватися в строгій відповідності із графіком ППР, затвердженому головним інженером.

При проведенні ремонтних робіт в апараті необхідно керуватися «Інструкцією з організації безпечного проведення газонебезпечних робіт на підприємстві».

При ремонті внутрішні поверхні очищають від бруду й інших відкладень.

Ремонтні роботи із застосуванням відкритого вогню повинні проводитись відповідно до «Типової інструкції з організації безпечного проведення вогневих робіт на вибухонебезпечних об'єктах». Вогневі роботи проводяться тільки при наявності дозволу на виробництво вогневих робіт.

Перевірку, регулювання й ремонт всіх контрольно-вимірювальних приладів й автоматичних пристосувань необхідно робити відповідно до «Правил організації й перевірки вимірювальних приладів і контролю за станом вимірювальної техніки з дотриманням стандартів і технічних умов», затвердженими комітетом стандартів, мір і вимірювальних приладів.

Не дозволяється знімати гайки зі шпильок або болтів доти, поки працюючий не переконається в тім, що апарат або ділянка трубопроводу не має тиску. Затягування гайок при ремонті повинна бути рівномірної щоб уникнути перенапруги в окремих болтах.

Перед зварюванням перевіряється якість підготовки й зборки елементів, що зварюють. Зсув кромки швів у стикових з'єднаннях не повинен перевищувати 10% більш тонкого листа, але не більше 3 мм. При зварюванні елементів різної товщини передбачається плавний перехід від одного елемента до іншого, при цьому кут скошу не повинен перевищувати 15°. Допускаються стикові шви без попереднього утонення стінки, якщо різниця між товщинами елементів, що з'єднуються, не перевищує 30 % від товщини більш тонкого елемента, але не більше 5 мм.

При ремонті корпусів зварювальні роботи виконуються при позитивній температурі навколишнього повітря. Допускаються зварювальні роботи з попереднім підігрівом при температурі навколишнього повітря не нижче -20°C.

При ремонті корпусів використовують ручне електродугове зварювання, крім того може бути використане автоматичне й напівавтоматичне зварювання. Зварні шви, що виконуються при ремонті, повинні забезпечувати необхідну міцність і бути доступними для контролю. Їх розташовують поза опорою корпуса. Перетинання зварних швів, що проводяться ручним електродуговим зварюванням не допускається.

Ушкоджену обичайку заміняють цілою або полистно. При заміні цілої проміжної обичайки використовують вантажопідйомні механізми. Вони утримують верхню неушкоджену частину апарата. Цю частину відокремлюють від дефектної обичайки й опускають на землю. Ушкоджену обичайку за допомогою тих же механізмів також опускають на землю. Нову обичайку піднімають і стикують із нижньою частиною апарата. Потім піднімають верхню частину й після стикування з обичайкою й перевірки частин обоє стикових шва заварюються. При листовій заміні використовують листи, завальцьовані по радіусу, рівному радіусу корпуса.

Дефектні днища при неможливості їхнього ремонту на місці заміняють новими.

#### **8.4 Ремонт вузла кріплення труб до трубної решітки**

Основними способами кріплення труб до трубної решітки в трубчастих теплообмінних апаратах є розвальцьовування роликми і зварка у поєднанні з розвальцьовуванням. Аналіз виходу з ладу теплообмінників, виконаний ВНШПТхімнафтоапаратури, показав, що від 14 до 25% відмов викликано порушенням герметичності вальцювальних з'єднань. Повзучість і релаксація при високих температурах порушують герметичність з'єднання, у зв'язку з чим при робочих температурах понад 450 °С для сталевих труб і понад 250 °С для труб з кольорових металів і сплавів необхідно застосовувати комбіноване кріплення (розвальцьовування і зварку). При деформації труби роликми виникає вельми високий місцевий контактний тиск, що викликає у ряді середовищ зниження корозійної стійкості в зоні

вальцювального поясу в порівнянні з недеформованим металом труби, відшаровування і луцення металу труб (у цих випадках, якщо дозволяє робоча температура, успішно застосовують клеєвальцьовочні з'єднання), руйнування захисного покриття (для труб оцинкованих, алюмінізованих і ін.), що призводить до необхідності розвальцьовування через тонкостінні проміжні втулки.

Зварку труб з трубними решітками застосовують в основному в теплообмінниках, що працюють при температурі вище  $450^{\circ}\text{C}$  і тиску більше  $14,0\text{МПа}$ , у поєднанні з розвальцьовуванням, виконаним роликотом інструментом, а також імпульсними методами і ін. Таке комбіноване кріплення труб застосовують і при меншому тиску і температурах у випадках, коли до герметичності з'єднань пред'являють особливі вимоги, пов'язані з пожежо- або вибухонебезпекою, а також токсичністю або радіоактивністю робочого середовища.

Застосування зварки без додаткового розвальцьовування доцільно тільки для апаратів, у яких товщина трубних решіток менше зовнішнього діаметру теплообмінних труб.

Заміна труб в трубних решітках включає видалення дефектних труб, підготовку нових труб (різання в розмір і зачистку кінців під розвальцьовування або зварку), набивання їх в пучки і кріплення в решітках.

Труби видаляють найчастіше вручну з використанням облямовування. Для цього висвердлюють трубу приблизно на три довжини розвальцьованої частини, зменшуючи при цьому товщину її стінки. Для тонких труб висвердлювання не обов'язкове. Після цього між трубою і внутрішньою поверхнею отвору решітки забивають спеціальне облямовування, яке деформує стінку труби. Ретельність в установці і роботі цим інструментом запобігає пошкодженню отвору трубних решіток. Потім облямовуванням трубу вибивають з трубних решіток.

Дефектні труби можна видаляти за допомогою спеціального устаткування, до складу якого входять портативна насосна станція,

гідралічний пістолет, електроімпульсний ключ, ручний ключ і комплект різьбових стрижнів. Насосна станція забезпечує тиск в системі до 70 МПа.

Труби видаляють в такій послідовності. Завальцьовану трубу відрізають на відстані 5—10 мм від внутрішньої поверхні трубних решіток. Перед видаленням дефектні труби доцільно відрізати з внутрішньої сторони трубних решіток. Потім стрижень з різьбленням за допомогою ручного або електричного ключа угвинчують в трубу, що підлягає видаленню, на стрижень надягають гідралічний пістолет із змінним упором, що нагвинчується на його кінець; при цьому стрижень затискається і гідропістолет витягує трубу.

При ремонті часто необхідно відновити поверхні ущільнювачів трубних решіток і фланців, що мають пошкодження, наприклад, у наслідок корозії металу. Ці роботи можна виконувати, не відрізаючи фланці, спеціальним переносним пристроєм, розробленим ВНШПТхімнафтоапаратури. Пристрій є зварною конструкцією, що містить корпус, яким він кріпиться на оброблюваному фланці, і план-шайбу із змонтованою на ній кареткою з резцедержателем.

Пристрій можна кріпити до фланців, розташованих у вертикальній і горизонтальній площині; універсальний затиск дозволяє кріпити його на фланцях різних зовнішніх діаметрів.

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. При плановому ремонті і заміні дефектних труб пробки видаляють і велику частину їх використовують повторно.

Течія в місцях кріплення труб в умовах експлуатації 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 тому подібне. В цих випадках застосовують розвальцьовочний інструмент з ручним приводом.

Розвальцьовочний 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.

Трьохроликів розвальцьовочний інструмент з регульованою глибиною розвальцьовування набув в даний час найбільшого поширення як у нас, так і за рубежом. У пазах корпусу, що розташовані під кутом 120° один до іншого і під кутом  $\alpha$  (де  $\alpha = 1^\circ 30' - 4^\circ 30'$ ) до подовжньої осі інструменту, обертаються ролики, які утримуються від випадіння завальцьованими краями пазів. У середині 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.

У якості привіда використовують пневмо- і електродвигуни, а також (значно рідше) гідромотори. Передача зазвичай складається із знижуючого

редуктора або коробки швидкостей, механізму реверсу (при використанні нереверсивного двигуна) і пристрою для фіксації развальцьовочного інструменту. Все більшого поширення набувають передачі з проміжним валом (зазвичай – телескопічного типу) між інструментом і приводом.

## 9. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Усі правила техніки безпеки під час монтажу обладнання, особливо під час проведення такелажних робіт, безпосередньо стосуються і вимог безпеки під час ремонту обладнання, конструкцій і трубопроводів. Раціональна організація робочих місць під час ремонту має передбачати їх мобільність і додержання усіх вимог техніки безпеки: наявність вільних проходів, шляхів постачання деталей, інструменту і пристроїв, огорожі робочої зони, запобіжних пристроїв та ін. Під час виконання зварювальних робіт, особливо в діючих цехах, потрібно неухильно виконувати всі правила техніки безпеки. Електрозварювальні роботи під час ремонту обладнання мають бути організовані згідно з ГОСТ 12.3.003–86. Особливо уваги потребують електрозварювальні роботи у вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечних приміщеннях. Зварювання на відкритому повітрі без навісу і під час дощу і снігопаду має бути припинено. Місце проведення вогневих робіт має бути забезпечено засобами пожежогасіння: вогнегасниками, ящиком з піском, лопатою, багром, відром з водою. Під час проведення газозварювальних робіт балони з киснем і горючим газом мають бути захищені від прямих сонячних променів та інших джерел теплоти і віддалені від пальників не менше ніж на 5 м. У разі використання ацетиленових генераторів місце їх установлення має бути надійно обгороджені. Відкривати барабани з карбідом кальцію потрібно латунними зубилами й молотком (використання мідних і сталевих різальних інструментів з цією метою заборонено) або спеціальним ножем, який змащено товстим шаром солідолу; барабани з карбідом слід берегти від контакту їх з водою. Усі роботи з розбирання, очищення, огляду, підготовки до ремонту, проведення ремонту обладнання та його випробувань виконують згідно з 395 Правилами безпеки у



вибухонебезпечних і вибухопожежонебезпечнихвиробництвах, Правилами будови і безпечноїексплуатації посудин, щопрацюютьпідтиском, експлуатаційною та ремонтною документацією, якіпередбачаютьспеціальнівимогибезпеки. Ціроботислідвиконувати вдень. Аварійніроботидопускаєтьсявиконувати і вночі за умовидодержанняособливих умов. Посудини та апарати, щопідлягаютьрозкриттю для ремонту, мають бути охолоджені, звільненівідтехнологічногоаборобочогосередовища, відключенівідусіхкомунікацій і діючоїапаратури, промиті, пропаренігострою водяною парою, продутіінертним газом і повітрям. Заглушки з хвостовиками мають бути встановлені на всіх без виняткукомунікаціях, підведених до обладнання, щоремонтують. Посудини та апарати, у якихзберігаютьсяабообробляютьсяотруйніречовини, розкриваютьтільки в спецодязі і шланговомупротигазі, якіпризначені для роботи з цимиречовинами. Всередині посудин та апаратівдопускаєтьсяпрацюватитільки за письмовимдозволом начальника цеху. Роботи по ремонту всерединіобладнаннявиконуютьщонайменше два робітники: один працює, а другий за ним спостерігає. Робота без спостерігача (дублера) забороняється. Перед потрапленнямробітника в посудину абоапаратпотрібнозробитианалізповітря і переконатися у тому, щовміствибухонебезпечних і токсичнихречовин в обладнанні не перевищуєнорми. Такожпотрібновиміряти температуру: робота за температурипонад 50 °Сзабороняється. Поверх спецодягуробітникмаєнадагтидопоміжний пояс з хрестоподібними лямками і закріпленою до них сигнально-рятувальноюмотузкою, вільнийкінецьякої (завдовжки не меншеніж 10 м) має бути виведенийззовні і надійнозакріплений. Дублер має бути вдягнений і споряджений таким чином, щоб бути наготовівнегайнадатидопомогуробітнику і за потреби витягтийого з апарата. Тривалістьбезперервноїроботи і послідовністьзмінюванняробітникамають бути передбачені у дозволі на

виконання цих робіт. Аналіз повітря потрібно виконувати систематично: у разі збільшення концентрації небезпечних речовин роботи мають бути негайно припинені, а робітники видалені з обладнання. Роботи в середині посудин та апаратів дозволяється виконувати тільки інструментом, який не дає іскор. Роботи із застосуванням відкритого вогню можна проводити тільки за письмового дозволу головного інженера підприємства. Вогневі роботи виконують за умов повністю відчинених люків і накривок, а також максимального повітряного обміну.

До початку зварювальних робіт обладнання має бути надійно заземлено. Переносні проводи, що підводять струм до місця зварювання, мають бути надійно ізольовані. У середині обладнання електрозварник має працювати в діелектричних рукавицях, калошах та ізольованому шоломі або касці, а також підлокітниках і наколінниках. 396 Після закінчення робіт з посудини або апарата мають бути вилучені всі інструменти, пристрої та ремонтні матеріали. Перед закриттям посудини або апарата відповідальний за проведення робіт повинен переконатися в тому, що в обладнанні не залишилися робітники і сторонні речі та матеріали.

## ВИСНОВКИ

Конструкція холодильника, його основних складових одиниць і розрахунки виконані відповідно до діючої в хімічному машинобудуванні нормативно-технічної документації.

Розрахунки холодильника на міцність виконані в повному обсязі і підтверджують працездатність розробленої конструкції апарата.

У ході виконання даного дипломного проекту були розраховані матеріальний і тепловий баланси. Виконано конструктивний розрахунок проектованого апарату, в ході якого визначено основні розміри проектованої колони та холодильника:

1. діаметр колони – 600 мм;
2. висота колони – 10200 мм;
3. відстань між тарілками – 500 мм;
4. кількість тарілок – 17 шт;
5. діаметр дефлегматора – 273 мм;
6. діаметр трубок – 25x2 мм;
7. довжина трубок – 1500 мм;
8. кількість трубок – 37 шт;

Визначено діаметри штуцерів, підібрані стандартні конструктивні елементи.

Накреслені графічна частина: загальний вигляд холодильника, технологічна схема ректифікаційної установки, збірні одиниці апаратів.