

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Аналітичний огляд.....	8
2. Опис технологічної схеми та конструкції колони, підігрівача.....	19
3. Конструкційні матеріали для виготовлення (підігрівача).....	27
4. Визначення основних розмірів колони і підігрівача.....	31
4.1 Вихідні дані.....	31
4.2 Визначення продуктивності за дистилятом та кубовим залишком.....	31
4.3 Визначення середніх значень параметрів колони, фізико- хімічних та термодинамічних констант фаз .....	35
4.4 Визначення діаметру колони та її висоти.....	42
4.5 Розрахунки підігрівача.....	43
5. Аналіз впливу конструктивних особливостей контактних пристроїв на розміри колонного апарата.....	46
6. Розрахунки на міцність елементів підігрівача.....	49
6.1 Початкові дані.....	49
6.2 Розрахункова температура.....	49
6.3 Допустимі напруження.....	51
6.4 Коефіцієнти міцності зварних швів.....	53
6.5 Додатки до розрахункових величин .....	54
6.6 Розрахунок кожуха теплообмінника .....	55

6.7	Визначення товщини трубної решітки .....	56
6.8	Розрахунок компенсатора на міцність.....	57
6.9	Розрахунок компенсатора на малоциклеву втомленість.....	60
7.	Технологія виготовлення підігрівача.....	62
8.	Ремонт підігрівача.....	68
9.	Техніка безпеки.....	74
	Висновки.....	84
	Література.....	85

#### Додатки

Додаток А– Схеми експериментальної установки

Додаток В– Ректифікаційна колона

Додаток С – Підігрівач вихідної суміші

## ВСТУП

В хімічній, нафтохімічній та суміжних галузях промисловості для розділення гомогенної рідкої суміші застосовують ректифікацію. Ректифікацією можна досягти будь-якого заданого ступеня розділення рідкої суміші. Для проведення процесу ректифікації у промисловості найбільше поширення одержали апарати колонного типу – тарілчасті ректифікаційні апарати. Серед тарілок привабливих для проведення ректифікації насамперед виділяються тарілки сітчастого типу, тому що вони характеризуються простотою своєї будови, легкістю монтажу та ремонту, низьким гідравлічним опором та достатньо високою ефективністю. Сітчаста тарілка дешева в виготовленні.

Проводять ректифікацію в башених колонових апаратах, оснащених контактними пристроями (тарілками або насадкою) - ректифікаційні колони, в яких здійснюється багаторазовий контакт між потоками парової та рідкої фаз. Рухомою силою ректифікації - відмінність фактичного (робочого) концентрацій компонентів у паровій фазі від рівноваги для даного складу рідкої фази. Парорідина система прагне досягнення рівноважного стану. При контакті з рідиною пара збагачена легколетучими (низькокиплячий) компонентами - ЛЛК, а рідина - труднолетучими (висококиплячий) компонентами - ТЛК. Рідина і пара рухаються, як правило, протитоком: пар - вгору, рідина - вниз, тому при досить великій висоті колони у її верхній частині можна отримати практично чистий цільовий компонент.

В залежності від температур кипіння розділених рідин ректифікація проводиться під різним тиском: атмосферний для кип'ятіх при 30-150 ° С, вище атмосферного для рідин з низькими температурами. Ректифікацію можна здійснити безперервно або періодично. Колони для безперервної ректифікації складаються з двох ступенів: верхня - укріплююча, де пар "підсилюється" - збагачується ЛЛК, а нижня - вичерпна, де рідка суміш вичерпується - з неї

втягуються ЛЛК і вона збагачується ТЛК. При періодичній ректифікації в колонці виробляється тільки підсилення пари.

Розрізняють ректифікацію бінарних (двокомпонентних) і багатокомпонентних сумішей.

**Метою** дипломної роботи є:

1. Визначення оптимального діаметру отворів сітчастих тарілок ректифікаційної колони
2. Розробка ректифікаційної колони, визначення основних розмірів підігрівача суміші.
3. Розрахунок на міцність підігрівача вихідної суміші.

Для досягнення мети поставленої наступні **задачі**:

1. Провести аналітичний огляд з процесом перегонки рідини ,різних процесів та конструкції підігрівача і ємнісного обладнання.
2. Розробити технологічну схему та конструкцію колони ректифікації і підігрівача суміші.
3. Підібрати конструкційні матеріали підігрівача вихідної суміші
4. Визначити основні розміри колони та підігрівача вхідної суміші.
5. Провести розрахунок на міцність елементів підігрівача.
6. Розробити технологію виготовлення підігрівача.
7. Скласти графік ППР підігрівача.
8. Розробити технікубесітчастозпекипри ремонті і експлуатації підігрівача.
9. Відповідно до комплексної роботи групи студентів при заданих технологічних параметрах процесу ректифікації а також змінних діаметрів отворів сітчастої тарілки та ККД тарілок розрахувати оптимальний розмір отворів сітчастої тарілки та визначити економічну доцільність поставленої задачі.

## 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

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 перегоняється рідини. Очевидно, що в невиконаних 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. Ректифікація (від лат. Прямого - пряма і фаціальна - роблю) - це процес розділення двовимірних або багатоконпонентних сумішей за рахунок протиточного масо- та теплообміну між паром і рідиною. Ректифікація - розділення рідких сумішей на практично чисті компоненти, що відрізняються температурами кипіння, шляхом численних випаровувань рідини та конденсації парів.

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 нерівноважних 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 підігрівають 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 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 дистилят 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. Дистилят відбирають після повної або часткової конденсації пари в дефлегматорі. Зрошення неповної виснажної колони здійснюють рідким живленням, яке подають на верхню тарілку. Теплообмінні апарати класифікуються за такими основними ознаками:

за конструкцією

— апарати з поверхнею теплообміну, виготовлюваною з труб (кожухотрубчасті, “труба в трубі”, зрошувальні, повітряного охолодження, занурювальні змішувальні);

апарати, поверхня теплообміну яких виконується з листового прокату (пластинчасті, спіральні) та апарати, виготовлені з неметалевих матеріалів;

– за призначенням – теплообмінники, холодильники, конденсатори та випарники;

– за взаємним напрямом робочих середовищ – прямотечийні, протитечійні та змішаного току.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати класифікуються таким чином:

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

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

– за розташуванням у просторі – вертикальні (В) і горизонтальні (Г);

– за числом ходів у трубному просторі – одноходові та багатходові;

– за компонованням – одинарні та здвоєні;

– за матеріальним виконенням – основні вузли і деталі з вуглецевої, низьколегованої, корозійностійкої сталі, латуні та титану.

#### Конструкції теплообмінних апаратів

В залежності від способу передачі тепла розрізняють дві основні групи теплообмінників:

1) поверхневі теплообмінники, в яких перенос тепла між обмінними теплом середовищами відбувається через розділяючу їх поверхню теплообміну - глухий стінку,



2) теплообмінники змішування, в яких тепло передає від однієї середовища до іншої при їх безпосередньому контакті.

Обі групи утворюють рекуперативні апарати. По формі поверхні рекуперативні теплообмінники розділяються на апарати з трубчастою поверхнею теплообміну та апаратами з плоскою поверхнею.

#### Теплообмінні апарати з трубчастою поверхнею нагрівання

Простіший з трубчастих теплообмінників типу «труба в трубі» складається з двох коаксиально закріплених труб. Перший теплоносій рухається по внутрішній трубі. Другий теплоносій проходить в кільцевому просторі, утвореному трубою і соосной с нею зовнішньої трубою. Таким чином, поверхня, через яку передається теплота, утворена тією частиною поверхні внутрішньої труби, яка заключається в зовнішній трубі. Для збільшення поверхні теплообміну в одній машині елементи, утворені двома трубами, з'єднуються послідовно за допомогою згорних з'єднувальних труб. Міжтрубне простір елементів повідомляється через з'єднувальні патрубки.

Теплообмінники типу «труба в трубі» прості по конструкції і піддаються механічній чистки, заміна окремих елементів нескладна. Головне перевага цих пристроїв полягає в тому, що можна забезпечити оптимальні швидкості руху теплоносій, підбираючи відповідні діаметри труб.

Суттєвий недолік пристроїв «труба в трубі» - значні габарити, тобто не велика поверхня теплообміну в одиниці об'єма апарата.

В кожухотрубному теплообмінному апараті реалізована та ж ідея, що і в апараті «труба в трубі», але замість однієї труби в зовнішній трубі великого діаметра поміщається пучок труб. Кожухотрубні теплообмінники характеризуються компактністю. В 1м<sup>3</sup> об'єму апарата поверхня теплопередачі може досягати 200 м<sup>2</sup>.

Поверхня теплообміну змієвикових теплообмінників утворюється трубчатим з'єднувачем, всередині якого пропускається гарячий або холодний теплоносій. Число витків змієвика обмежено значними гідравлічними опорами, тому поверхня теплообміну срібних пристроїв невелика, і використовують їх у машинах малої продуктивності.

#### Теплообмінні апарати з плоскою поверхнею нагріву

Поверхня теплообміну пластинчастого теплообмінника складається з гофрованих пластин з чотирма отворами по кутах. Проклавши між пластинами і спеціальні фасонні прокладки і притискаючи пластини один до одного, можна утворити канал синусоїдального профілю, по якому рідина може перетікати з верхнього лівого отвори в нижнє ліве. Ці два отвори об'єднані спільною великий прокладкою, в той час як два інших отвори оточені малими (кільцевими) прокладками, і з них рідина не може ні виходити, ні входити в канал. Якщо до двох стисненим пластин і притиснути пластину, об'єднавши прокладкою нижнє праве отвір з верхнім правим, то буде утворено два канали. У першому, між пластинами і, один теплоносій перетікає зверху вниз, а в другому каналі, між пластинами і, інший теплоносій проходить знизу вверх. Продовжуючи додавати пластини і прокладки праворуч і ліворуч від утвореного пакета, можна збільшувати число паралельних каналів і поверхня теплообміну. Ширина синусоїдального каналу лежить в межах від одного до декількох міліметрів, і рідина швидко прогривається по всій товщині шару. Цьому сприяє штучна турбулізація потоку на поворотах в каналі, що викликає збільшення коефіцієнта тепловіддачі. Пластинчасті теплообмінники, займаючи малий обсяг, мають великий (до 1 500 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>) поверхнею теплообміну і великими значеннями коефіцієнта теплопередачі, аж до 800 Вт/м<sup>2</sup> при малому гідравлічному опорі. Ще однією перевагою апаратів цього типу є можливість швидкого складання і розбирання при ревізії та механічного чищення поверхні. Крім того, поверхня теплообміну може легко змінюватися, оскільки залежить від кількості використовуваних пластин. Головна ж перевага пластинчастих

теплообмінників полягає у можливості поєднання в одному апараті декількох пакетів пластин, в кожному з яких рухається своя пара теплоносіїв. Ця обставина дозволяє економити теплову енергію на підприємстві. Наприклад, при пастеризації соків (молока) в останній (третій) пакет надходять попередньо підігрітий сік і гарячий теплоносій при температурі близько 100°C.

Пастеризація відбувається при температурі близько 70°C, і нагрітий до цієї температури пастеризований сік переходить в перший пакет, де використовується в якості гарячого теплоносія для попереднього підігрівання соку, що надходить в апарат. У другому пакеті в якості гарячого теплоносія використовується теплоносій з третього пакету, температура якого вище 80°C. У цьому прикладі сік нагрівається на трьох щаблях, а гарячий теплоносій подається тільки в третій пакет. Насправді у виробництві в одному апараті поєднують підігрів і охолодження багатьох рідин. Пластинчасті теплообмінники застосовують також при обігріві паром низького тиску. В цьому випадку ширина каналу для проходу пара становить 5...10 мм. Пластинчасті теплообмінні апарати можна використовувати при високому тиску теплоносіїв з-за небезпеки розгерметизації ущільнень між пластинами. Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з розширником на кожусі

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з розширником на кожусі є модифікацією апаратів з нерухомими трубними решітками і температурним компенсатором на кожусі і виготовляються діаметром 1000 і 1200 мм за технічними умовами .

Зберігаючи всі переваги апаратів з нерухомими трубними решітками, вони разом з тим забезпечують підвищення теплової ефективності порівняно з ними за рахунок:

– збільшення поверхні теплообміну завдяки більш повному заповненню міжтрубного простору внаслідок введення розширників в районі штуцерів та застосування труб із завуженими кінцями в рядах біля подовжніх перегородок в

розподільній камері;

– збільшення коефіцієнта теплопередачі завдяки спрямуванню спеціальними кільцевими відбійниками середовища міжтрубного простору на трубну решітку. В цьому випадку виключаються застійні зони, і в теплообміні бере участь вся поверхня.

Конструкції кожухотрубчастих теплообмінників з розширником на кожусі

Кожухотрубчасті теплообмінники з розширником на кожусі горизонтальні та вертикальні складаються з трубного пучка , розподільної камери , кришки (для багатোধодових по трубному простору апаратів). Апарати мають штуцери для підведення і відведення робочих середовищ, штуцери для спорожнення трубного та міжтрубного просторів, а також штуцери-повітряники. В кожусі апарата в зонах розміщення штуцерів для введення та виведення робочих середовищ вварені спеціальні розширники.

Апарати з температурним компенсатором на кожусі обладнуються лінзовим компенсатором, призначеним для зниження температурних напружин, які виникають в трубах та кожусі при його роботі. Горизонтальні апарати установлюються на сідлових опорах, одна з яких нерухома, друга – рухома (ковзна), вертикальні апарати установлюються на опорних лапах.

Конструкції трубних пучків теплообмінників з розширником на кожусі

Конструкція трубного пучка двоходового по трубам горизонтального теплообмінника з розширником і компенсатором на кожусі . Трубний пучок складається з трубних решіток , приварених до кожуха , в котрій вварені розширники та лінзовий компенсатор .

Трубний пучок установлюється на сідлових опорах , одна з яких нерухома, друга – рухома (ковзна). Трубний пучок вертикального апарата установлюється на опорних лапах.

Труби кріпляться в трубних решітках обваркою з наступною розвальцьовкою. В кожух трубного пучка в його верхній і нижній частинах вварені штуцери і для введення та виведення теплообмінного середовища міжтрубного простору. В штуцери і вварені бобишки з внутрішньою метричною нарізкою, верхня з яких служить повітряником, а нижня призначена для зливу рідини при зупинці апарата на ремонт та після проведення гідравлічних випробувань. Усередині кожуха установлені поперечні сегментні перегородки, кріплення та ущільнення яких здійснюється за допомогою штаб і косинок.

Розширники виконані у вигляді циліндричних обичайок з діаметром декілька більшим ніж діаметр кожуха та з'єднані з останнім за допомогою двох відбортованих з двох боків конічних переходів. До кожуха апарата під розширниками приварені перфоровані кільцеві відбійники таким чином, що між ними та трубними решітками залишаються кільцеві щілини для проходження середовища міжтрубного простору.

Вільні кінці циліндричних відбійників виконуються перфорованими. Діаметр та крок розміщення отворів у відбійниках приймаються конструктивно, але при цьому повинна виконуватися умова

Розширники виконані у вигляді циліндричних обичайок з діаметром декілька більшим ніж діаметр кожуха та з'єднані з останнім за допомогою двох відбортованих з двох боків конічних переходів. До кожуха апарата під розширниками приварені перфоровані кільцеві відбійники таким чином, що між ними та трубними решітками залишаються кільцеві щілини для проходження середовища міжтрубного простору.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з плаваючою  
головкою

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з плаваючою головкою (тип ТП) застосовуються при практично необмеженій різниці температур труб і кожуха а

також в тому випадку, якщо необхідна чистка зовнішньої (при розміщенні теплообмінних труб по вершинам квадратів) та внутрішньої поверхонь труб. В цих апаратах можлива також заміна пошкоджених труб. Разом з тим апарати типу ТП відрізняються більш складною конструкцією від апаратів типів ТН і ТК.

Кожух теплообмінних апаратів із плаваючою головкою виготовляється з труб зовнішнім діаметром 325 мм та з листового прокату діаметром 400, 500, 600, 800, 1000 і 1200 мм за каталогом і технічними умовами .

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати типу ТП застосовуються для теплообмінювальних середовищ з температурою від -30 до +450 °С і на умовний тиск в трубах та кожусі від 2,5 до 6,3 МПа.

#### Конструкції трубних пучків теплообмінників типу ТП

Трубний пучок горизонтального двоходового теплообмінника з плаваючою головкою складається з нерухомої та рухомої (плаваючої) трубних решіток, які з'єднуються між собою за допомогою теплообмінних труб.. До труб в місці установки штуцера для введення середовища в міжтрубний простір за допомогою спеціальних шпильок та гайок кріпиться відбійна пластина , призначена для запобігання ерозії теплообмінних труб. Усередині корпуса установлені поперечні сегментні перегородки , кріплення яких здійснюється за допомогою стяжок , дистанційних розпірних труб та гайок . Конструкція кріплення стяжок аналогічна конструкції їх кріплення в апаратах типів ТН і ТК.

#### Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з U-подібними трубами

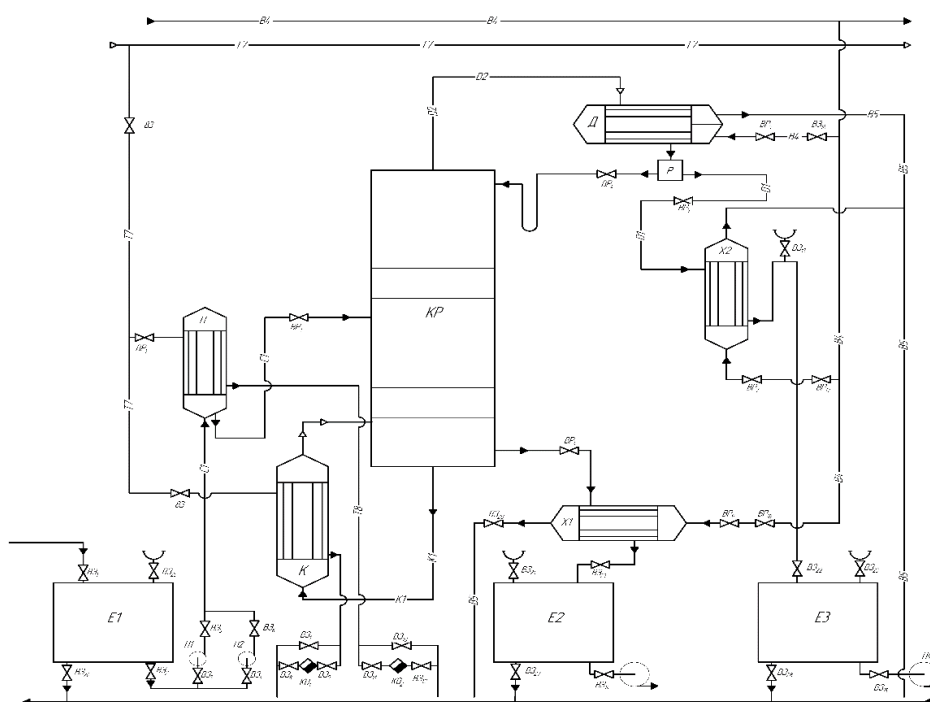
Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з U-подібними трубами застосовуються при більшій різниці температур труб і кожуха ніж апарати з температурним компенсатором на кожусі і при відсутності необхідності чистки зовнішньої та внутрішньої поверхонь труб. В цих апаратах практично неможлива заміна пошкоджених труб. Разом з тим апарати типу ТУ відрізняються більш простою конструкцією порівняно з апаратами типу ТП.

Теплообмінні апарати з U-подібними трубами виготовляються із зовнішнім діаметром кожуха 325 мм та з внутрішнім діаметром кожуха від 400 до 1400 мм за технічними умовами .

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати типу ТУ застосовуються для теплообмінювальних середовищ з температурою від -30 до +450 °С і на умовний тиск в трубах та кожусі 1,6; 2,5; 4,0 і 6,3 МПа.

## 2. ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЙ КОЛОНИ ПІДГРІВАЧА

Вихідна суміш з видаткової ємності (1) відцентровим насосом (2) подається на підігрівач (3), де нагрівається до температури кипіння і надходить на живильну тарілку ректифікаційної колони (5). Стікаючи по тарілках рідину, потрапляє в куб, з якого надходить у кип'ятильник (4). З кип'ятильника пари рідини поступають в нижню частину колони і рухаються назустріч вихідної суміші, барботирую через неї і збагачуючись низькокиплячі компонентом. Виходячи з колони пари, потрапляють в дефлегматор (6) і конденсуються. Дистилат надходить в роздільник (7), де розділяється на два потоки: одна частина в якості флегми повертається в колону і стікає по тарілках вниз, збагачуючись при цьому висококипящим компонентом, а інша частина надходить у холодильник (8), охолоджується і потрапляє в приймальну ємність (9). По мірі роботи частина рідини з куба відводиться в холодильник (11) і надходить у приймальну ємність (12) як кубового залишку.





## Рисунок 2.1 – Технологічна схема ректифікаційної установки.

Класичні типи колонних апаратів - тарельчаті та насадочні. В тарельчатих контактах між рідиною і газовою фазою відбувається за рахунок багаторазового барботажу газу (або пара) через шар рідини, а в насадочних - за рахунок стікання рідини за елементами насадки. У обох випадках рідина стікає вниз під дією сили тяжкості і газової фази рухається назустріч знизу вгору.

Тарілочасті ректифікаційні колони представляють собою вертикальні апарати, усередині яких на рівній відстані один від одного по висоті розташовані тарілки.

Тарілочасті ректифікаційні колони можуть відрізнятися за кількістю тарілок, по способам подачі і відбору продуктів, по конструкції. Крім того, поряд з тарілочастими колонами застосовуються колони без тарілок, заповнені насадкою у вигляді металевих або керамікових спіралей, кілець або інших тіл, що забезпечують більшу за величиною і постійно освіжати поверхню зіткнення стікає вниз рідини з піднімаються парами.

Тарілочасті ректифікаційні колони представляють собою вертикальні циліндри, всередині яких розташовані горизонтальні ковпачкові тарілки.

Тарілочаста колона ректифікації складається з окремих, пов'язаних між собою елементів: тарілок колон, дефлегматора і куба випарника. Математичне моделювання роботи таких багатоелементних об'єктів зазвичай здійснюють у такий спосіб: виводять спочатку рівняння математичної моделі кожного елемента, а потім, об'єднавши ці рівняння в загальну систему, отримують математичну модель всього об'єкта. Відповідно до цього підходу необхідно знайти динамічну модель процесів, що протікають на окремій тарілці ректифікаційної колони, а також динамічні моделі дефлегматора і куба випарника.

Тарілчаста колона ректифікації складається з окремих функціональних і конструктивних частин - тарілок.

Тарілчасті ректифікаційні колони застосовуються в хімічній і нафтохімічній промисловості для розділення рідких сумішей.

Тарілчасті ректифікаційні колони можуть відрізнятися за кількістю тарілок, по способам подачі і відбору продуктів, по конструкції. Крім того, поряд з тарілчастими колонами застосовуються колони без тарілок, заповнені насадкою у вигляді металевих або керамікових спіралей, кілець або інших тіл, що забезпечують більшу за величиною і постійно освіжати поверхня зіткнення стікає вниз рідини з піднімаються парами.

Тарілчасті ректифікаційні колони є найбільш поширеним типом ректифікаційних колон.

Тарілчасті ректифікаційні колони можуть бути розраховані двома способами: за допомогою розрахунку ступенів зміни концентрації або розрахунком масопередачі.

У тарілчастих ректифікаційних колонах контакт і масо-обмін між парою і рідиною здійснюються під час барботажа - проходження бульбашок і струмків пара через шар рідини на тарілці.

У тарілчастих ректифікаційних колонах контакт і масо-обмін між парою і рідиною здійснюються під час барботажа - проходження бульбашок і струмків пара через шар рідини на тарілці. На ковпачкових тарілках барботаж відбувається по периметру ковпачків, краї яких мають зубці або прорізи для роздроблення потоку пара на окремі дрібні парові цівки.

У тарілчастих ректифікаційних колонах такий масообмен між парою і рідиною здійснюється під час барботажу - проходження бульбашок і струмків пара через шар рідини на тарілці.

Найбільш поширені тарілчасті ректифікаційні колони. Число тарілок в них залежить як від типу розділяється рідкої суміші, так і від бажаного ступеня її поділу.

Нестаціонарні режими тарілчастих ректифікаційних колон описуються системами звичайних диференціальних рівнянь, інтегрування яких дозволяє розрахувати перехідні процеси при різних збуреннях. Основні труднощі, що виникають при розрахунках нестаціонарних режимів ректифікаційних колон, пов'язані з можливою нестійкістю чисельних алгоритмів інтегрування систем диференціальних рівнянь, яка особливо проявляється при інтегруванні систем рівнянь високого порядку.

При конструюванні тарілчастих ректифікаційних колон слід завжди враховувати гідравлічний опір, внаслідок якого виникає значна різниця тисків біля основи і вершини колони.

Математичний опис тарельчатой ректифікаційної колони, яке використовується в цій моделі, складено з урахуванням наступних припущень: 1) вихідна бінарна суміш подається в колону при температурі кипіння; 2) рідина на тарілках колони знаходиться при температурі кипіння, а пар - при температурі точки роси (насичений); 3) потоки пара і рідини по висоті секцій колони постійні; 4) тиск по висоті колони постійно; 5) флегма на зрошення колони подається при температурі кипіння; 6) колона з повним конденсатором; 7) кип'ятильник колони працює як парціальний випарник; 8) Масопередача на тарілках колони еквімолярної; 9) в зоні масообміну на тарілці колони здійснюються ідеальне перемішування рідини і ідеальне витіснення пара.

Робочу висоту насадок і тарілчастих ректифікаційних колон визначають тими ж методами, що і для абсорбції та екстракційних колон.

Найбільш поширені колпачкову тарілчасті ректифікаційні колони. Чим більше в колоні тарілок, тим чіткіше вдається виділити компоненти вихідної суміші.

## Конструкції тарілок.

Шліцеві тарілки складні і металоємки в порівнянні з тарілками інших типів.

Загальною частиною ковпачкової тарілки є підстава - сталевий відбортований диск товщиною 4 мм з отворами для установки парових патрубків і сегментної зливної труби . Над паровими патрубками встановлені стандартні ковпачки. Для створення необхідного рівня рідини тарілка забезпечена зливний перегородкою, до якої гвинтами прикріплена регулювальна планка . Перегородка утворює так званий вхідний кишеню, в який занурюється зливна труба вище розташованої тарілки. Нижня тарілка встановлена на кільці 15, привареному до царге. Точність горизонтальної установки забезпечується регулювальними гвинтами .

Для установки розташовується вище тарілки служать стойки , мають опорні плити . Таким чином заповнюють всю царгу.

Проміжок між бортом підстави тарілки і царгой ущільнюють установкою сальникової набивки і затисненням її притискним кільцем за допомогою шпильок і скоб .

Рідина через сегментну зливну трубу заповнює тарілку на рівень, який визначається положенням регулювальної планки . Ковпачки своїми прорізами занурені в рідину. Пара проходить знизу через парові патрубки, щілини ковпачків і барботують крізь шар рідини; при цьому відбувається масообмін. Рідина переливається на нижче розташовану тарілку, а пара йде вгору.

Ковпачки для тарілок виготовляють двох виконань ( нерегульовані по висоті і регульовані по висоті).

Ковпачки прикріплені до парових патрубків спеціальними болтами , шайбами і гайками . По краю ковпачок має прорізи шириною 4 мм і висотою 15; 20 або 30 мм.

Ковпачки розташовують на тарілці по вершинах рівносторонніх трикутників або в шаховому порядку. Відстань між краями ковпачків  $40 \div 60$  мм.

Сітчасті тарілки - це лист з пробитими в ній круглими (а), щілиноподібними (малюнок б) або просіканими трикутними отворами розміром  $2 \div 15$  мм. Пар, що проходить в отвори, барботують через шар рідини, яка стікає через переливні патрубки. Швидкість пара в отворах  $10 \div 12$  м / с.

Сітчаті тарілки прості в конструкції і ефективні. Їх недолік - необхідність точного регулювання заданого режиму (особливо по витраті газу) і чутливість до опадів і відкладень, що забиває отвори.

Сітчаті тарілки застосовують в основному для колон малого розміру, тому що при діаметрах більше 2,5 м розподілу рідини на тарілці стає нерівномірним.

Клапанні тарілки. Основні елементи клапанної тарілки - підйомні клапани (див. Малюнок) круглої і прямокутної форми, що закривають отвори в тарілці. Конструктивно клапан виконаний так, що підйом можливий тільки на певну величину. При певній швидкості парів в отворі клапани врівноважуються потоками пари і при подальшому збільшенні навантаження починають підніматися таким чином, що швидкість пара в перерізі між клапаном і полотном тарілки залишається приблизно постійною. Наслідком цього є рівномірний розподіл пара по площі тарілки, зменшення виносу рідини і менший гідравлічний опір.

Тарілка з S-образними елементами . Їх основна перевага - простота конструкції і велика жорсткість штампованих елементів. S-образні елементи являють собою ковпачки з одностороннім виходом пара. Пара з них виходить в тому ж напрямку, що і рухається по тарілці рідина.

Насадкові ректифікаційні колони широко поширені в різних галузях хімічної та харчової промисловості.

Насадкові ректифікаційні колони застосовуються головним чином невеликого діаметру (приблизно до 1 м), а також при ректифікації в вакуумі і для поділу хімічно агресивних речовин.

Насадкова колона ректифікації, найбільш проста по конструкції, являє собою циліндричний вертикальний апарат, заповнений по всій висоті або на окремих ділянках так званої насадкою - певних розмірів і конфігурації тілами з інертних матеріалів.

Насадкові ректифікаційні колони мають меншу в порівнянні з тарілчастими колонами гідравлічний опір, що припадає на одну теоретичну тарілку. За цим показником вони цілком придатні для поділу сумішей під вакуумом.

Насадкова колона ректифікації є циліндричний вертикальний апарат, заповнений по всій висоті або на окремих ділянках так званої насадкою - певних розмірів і конфігурації тілами з інертних матеріалів. Призначення насадки полягає в створенні великої поверхні контакту між стікає по ній рідиною і піднімається потоком пари і інтенсивному перемішуванні їх. Особливістю контакту і масообміну в насадок колоні є їх безперервність на всій ділянці апарату, заповненому насадкою.

Насадкові ректифікаційні колони до теперішнього часу залишаються (поряд з тарілчастими колонами) основним типом колонних апаратів в самих різних галузях хімічної та нафтохімічної промисловості. При створенні відповідних гідродинамічних умов ефективність насадок колон може бути досить високою, порівнянної з ефективністю тарілчастих апаратів. [9]

Насадкові ректифікаційні колони роблять в даний час порівняно рідко.

Насадкові ректифікаційні колони застосовують в основному в малотоннажних виробництвах і для вакуумної ректифікації. Насадки в порівнянні з тарілками мають більш низьким гідравлічним опором. Застосовують насадки двох типів: насипні і регулярні.

Конструктивно насадкові ректифікаційні колони не відрізняються від скрубберів та інших теплообмінних апаратів з насадкою.

У насадкових ректифікаційних колонах одним з основних регульованих параметрів є перепад тиску, що забезпечує заданий гідродинамічний режим в апараті.

### **3. КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА**

Враховуючи широкий діапазон тисків та температур робочих середовищ, а також різноманітність їхніх властивостей, до сучасних теплообмінних апаратів пред'являються такі основні вимоги:

– конструкція апарата має бути технологічною, надійною протягом передбаченого технічною документацією строку служби, забезпечувати безпеку при виготовленні, монтажі та експлуатації, передбачати можливість огляду (у тому числі внутрішньої поверхні), очистки, промивки, продувки та ремонту, а також забезпечувати можливість термообробки, передбаченої креслеником;

– застосування конкретного типорозміру апарата повинно забезпечувати передачу потрібної кількості тепла від одного середовища до іншого з отриманням необхідних кінцевих температур кожного робочого середовища при заданому рівні гідравлічних опорів.

Одна з основних ознак класифікації теплообмінних апаратів – за конструкцією - апарати з поверхнею теплообміну, виготовлюваною з труб (кожухотрубчасті, “труба в трубі”, зрошувальні, повітряного охолодження, занурювальні змійовикові); апарати, поверхня теплообміну яких виконується з листового прокату (пластинчасті, спіральні) та апарати, що виготовляються з неметалевих матеріалів.

Широкий спектр використовуваних в апаратобудуванні матеріалів пояснюється різноманітністю 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.

Сталі. 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
корозійно-стійкі 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, 15X5М, 12x13, 12ХМФ, 16ГС, 09Г2С, 15Г2СФ, 09Г2ФБ.

Найбільш поширеною в хімічному машинобудуванні легованої сталлю є сталь X18H10T. 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:

12X18H9, 12X18H10T, 03X18H11, 08X18H12Б, 10X14Г14H4T, 03X19АГЗН10, 03X13АГ19, 10X17H13МЗТ, 03X18АГЗН11МЗБ і ін.

Для фосфорної, оцтової і деяких інших кислот застосовується сталь EI-35 (000X21H21M4B), для сірчаної та соляної кислот - X17H5M3, 0X22H5T, 0X21H6M2T.

Незважаючи на високу вартість для відповідальних апаратів застосовують високолеговані сплави типу "хастелой", наприклад, 0X15H55M16B.

В останні роки в апаратобудуванні стали застосовувати низьковуглецеві аустенітні сталі 03X18H14 і 03X17H14M3, які мають більш високу корозійну стійкість, ніж їх аналоги з нормальним вмістом вуглецю, наприклад, 08X18H10T і 10X17H13M3T. 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 03X19АГЗН10, що має  $\sigma_{тт} = 350$  МПа (у сталі 03X18H11 -180 МПа). Галузевими нормативами передбачено використання:

- аустенітних сталей 06ХН28МДТ (EI943), 03Х428МДТ (EI516), ХН65МВ (EP567), ХН78Т (EI435), ХН65МВУ (EP760), Н70МФВ-ВЧ (EP8114А-В);
- двошарових сталей з корозійностійких шаром із сталей марок 08Х13, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, сплаву 06ХН28МДТ.

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.

Застосовуються також титанові сплави ВТ 1-0, ВТ 1-1, що володіють хорошою міцністю і високими технологічними характеристиками. Сплав ВТ-14 має відмінні ливарні властивості.

Слід зазначити, що ще більш широкому застосуванню зазначених вище кольорових металів, а також таких як свинець і тантал, заважає їх висока вартість. Наприклад, тантал в 5-6 разів дорожче, ніж нержавіюча сталь.

Ефективним способом зниження вартості апаратури при збереженні її експлуатаційних показників є використання багат шарових матеріалів (біметалів).

Біметали (плаковані метали) є самостійною групою промислових матеріалів, що мають властивості, якими не володіють складові їх метали. Плакірованіє дозволяє поєднувати найбільш цінні властивості окремо взятих складових біметалу: міцність з високою опірністю дії агресивних середовищ або з хорошою електропровідністю, жароміцність зі стійкістю проти корозії, хорошу зварюваність з високим опором зносу і т.д.

З огляду на, що широке використання біметалів має реальну перспективу при виготовленні економічних конструкцій апаратів різних сфер їх застосування, в даному посібнику виділено спеціальний розділ, присвячений особливостям технології виготовлення виробів з біметалів.

Підігрівач виготовлений зі сталі 10X17H13M2T , M11.

## 4.ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИТА ПІДГРІВАЧА

### 4.1. Вихідні дані

1 Продуктивність за вихідної сумішшю – 5.5 т/год;

Концентрація метилового спирту:

–

- у вихідні суміші – =45% (мас.);

–

- у дистилляту =98% (мас.);

–

- у кубовому залишку =1,5% (мас.).

Температура:

- вихідної суміші – 16 °С;

- охолоджувальної води – 12 °С;

- дистилляту після холодильника – 21 °С;

- кубового залишку після холодильника – 21 °С.

Тиск насиченої водяної пари – 5.5 кгс/см<sup>2</sup>.

Коефіцієнт надлишку флегми – 1,5.

### 4.2.Визначення продуктивності за дистиллятом та кубовим залишком

Продуктивність колони ректифікації за дистиллятом визначають за формулою :

$$G_D = G_F - W = 5500,98 - 0,015 \cdot 2479,27 \text{ моль} = 0,6886 \text{ кг} .$$

(4.1)

Продуктивність колони за кубовим залишком визначають із рівнянням :

$$G_W = G_F - G_D = 5500 - 2479,27 = 3020,72,34 \text{ кг/ч} = 0,839 \text{ кг/с} .$$

Перевірка:

$$5500 \cdot 0,45 = 2479,27 \cdot 0,98 + 3020,72 \cdot 0,015$$

$$2475 = 2429,68 + 45,31$$

$$2475 = 2475$$

#### 4.3. Визначення мінімального та дійсно числа флегми

Перераховують концентрації потоків з масової долі у мольні долі за формулою

(4.2)

де  $x_A$  – мольна доля низькокиплячого компонента А у бінарній суміші;

–

– масова доля низькокиплячого компонента А у бінарній суміші;

$M_A, M_B$  – мольні маси відповідно компонентів А и В.

Мольні маси: дихлоретан – 98.97 кг/кмоль; толуол – 92.13 кг/кмоль.

Тоді концентрація вихідної суміші:

дистиляту:

кубового залишку:

Мінімальне число флегми визначають графоаналітичним способом. Для цього на основі дослідних даних в координатах  $y-x$  будують рівноважну криву для суміші діхлоретан – толуол при атмосферному тиску

та криву залежності температур кипіння та конденсації від складу рідини та пари. Рівноважні дані для бінарних сумішей наведено в табл. 1 Додатку А.

На діаграмі  $y - x$  з точки 1, координати якої  $(x_D, y_D)$ , через точку 2' з координатами  $(x_F, y_F^*)$  проводять пряму лінію до перехрещення з віссю ординат  $Oy$ . Відрізок, який відсікає пряма лінія на вісі  $Oy$ , позначають через  $B_{\max} = 0,35$ . Звідси знаходять мінімальне флегмове число :

$$R_{\min} = \frac{x_p}{B_{\max}} - 1 = \frac{0,9785}{0,35} - 1 = 1,795 . \quad (4.3)$$

Якщо урахувати знаний коефіцієнту надлишку флегми  $K_R$  та задіяти рівняння , можна знайти робоче (дійсне) флегмове число

$$R = K_R \cdot R_{\min} = 1,5 \cdot 1,795 = 2,69. \quad (4.4)$$

На діаграмі  $y - x$  наносять лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для робочого флегмового числа  $R = 2,69$ . Для цього на вісі ординат  $Oy$  відкладають відрізок  $B = \frac{x_p}{R + 1} = \frac{0,9785}{2,69 + 1} = 0,26$  , кінець якого з'єднують з точкою 1, яка має координати  $(x_D = y_D)$ . Точку перехрестя цієї прямої з вертикальною лінією, яка установлена в точці  $x_F$  вісі абсцис, позначають точкою 2, що має координати  $(x_F, y_F)$ . Та, кінець кінцем, точку 2 з'єднують с точкою 3  $(x_W = y_W)$ . Лінії 1-2 та 2-3 є відповідно робочими лініями для верхньої та нижньої частин ректифікаційної колони.



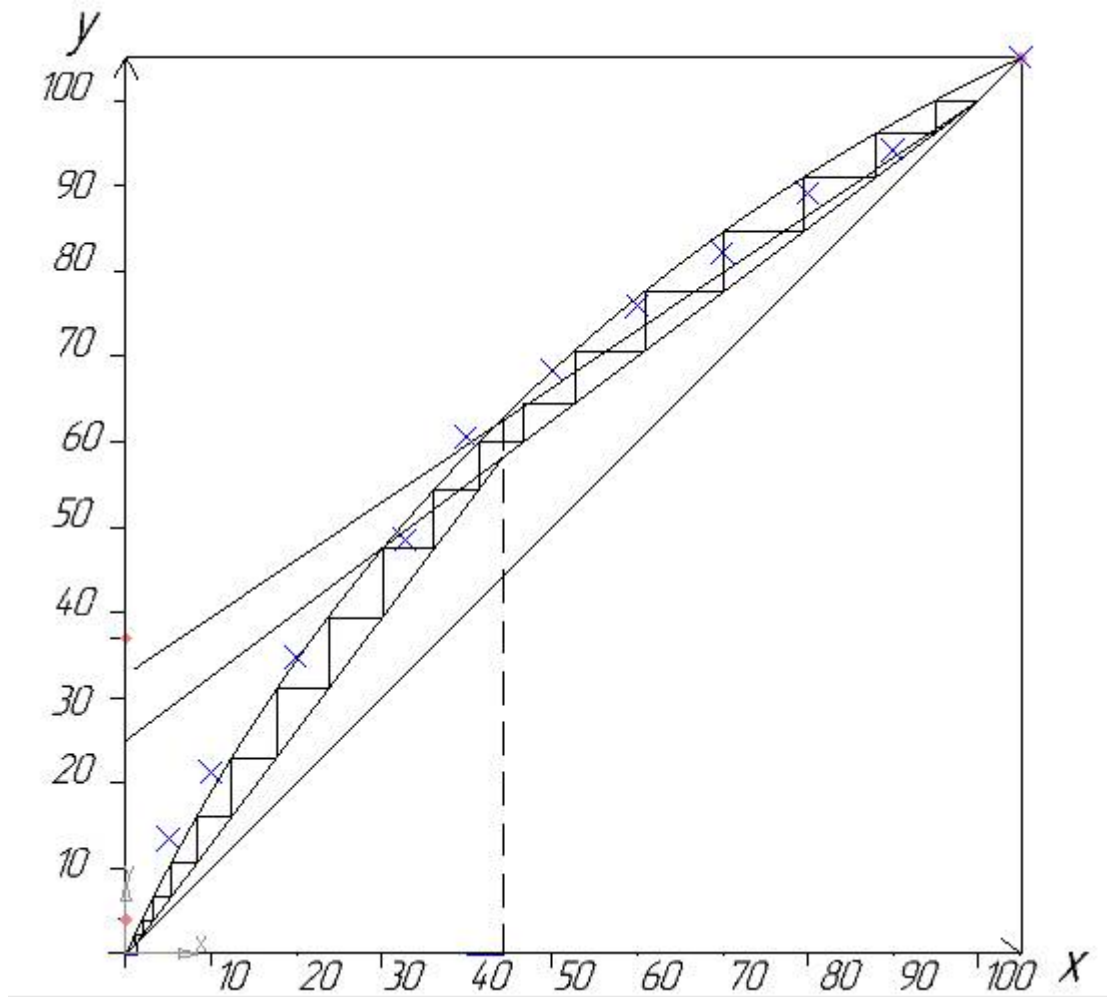


Рисунок 4.1 – Визначення кількості теоритичних тарілок  
на діаграмі  $y - x$ .

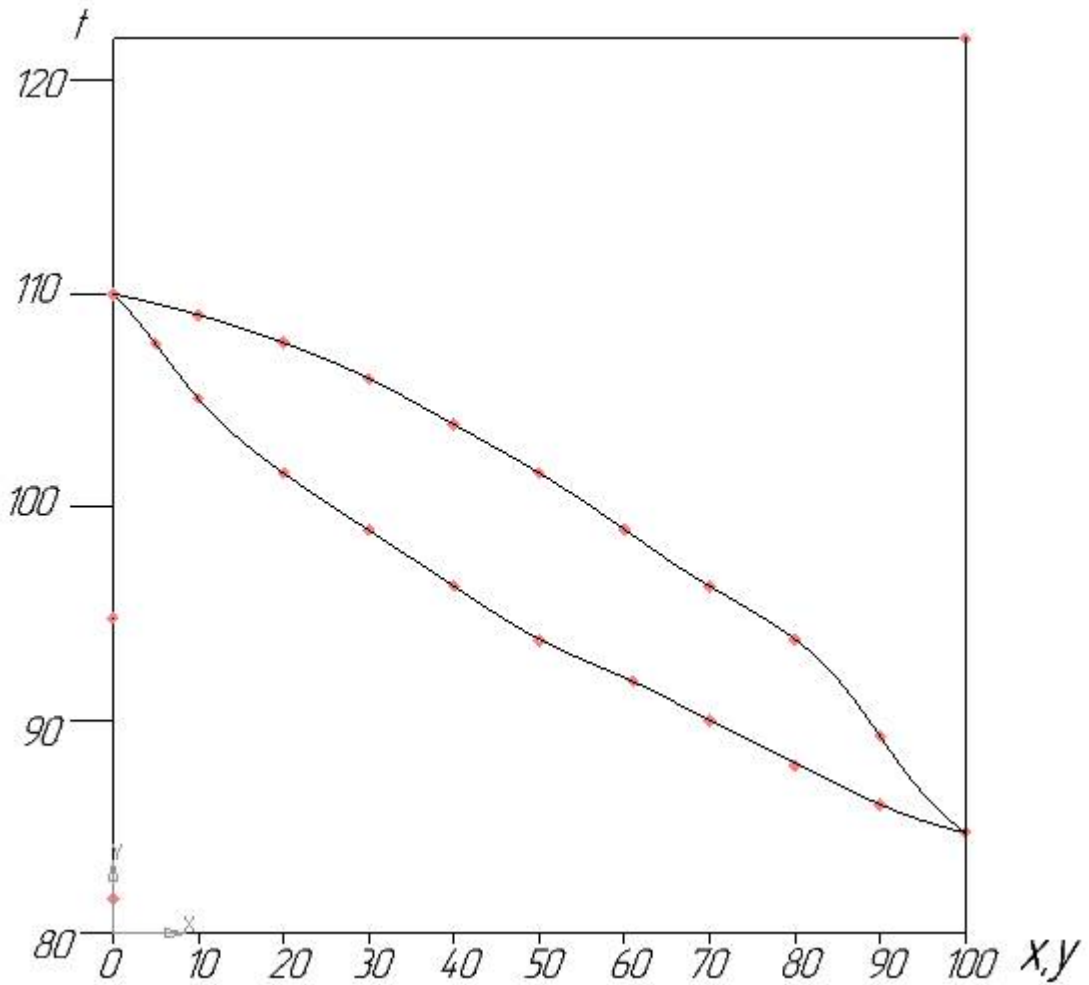


Рисунок 4.2 – Залежність температури кипіння та конденсації від складу рідини і пари.

4.3. Визначення середніх значень параметрів колони, фізико-хімічних та термодинамічних констант фаз.

Рідка фаза.

Середня мольна концентрація для нижньої частини колони:

$$x_{сер}^H = \frac{x_W + x_F}{2} = \frac{0,0139 + 0,4285}{2} = 0,2209. (4.5)$$

Середня мольна концентрація для верхньої частини колони:

$$x_{сер}^в = \frac{x_F + x_D}{2} = \frac{0,4285 + 0,9785}{2} = 0,7035$$

Середня мольна концентрація в колоні

$$x_{сер} = \frac{x_{сер}^H + x_{сер}^в}{2} = \frac{0,2209 + 0,7035}{2} = 0,4622 \quad (4.6)$$

Середня масова концентрація в колоні:

’  
(4.7)

-

Середня температура у нижньої частини колоні:

$$t_{x_{сер}}^H = \frac{t_{XW} + t_{XF}}{2} = \frac{5 + 56,5}{2} = 30,75^\circ\text{C}. \quad (4.8)$$

Середня температура у верхньої частини колоні:

$$t_{x \text{ сеп}}^6 = \frac{t_{XF} + t_{XD}}{2} = \frac{56,5 + 96}{2} = 76,25^\circ\text{C}.$$

Середня температура у колоні:

$$t_{x \text{ сеп}} = \frac{t_{x \text{ сеп}}^H + t_{x \text{ сеп}}^6}{2} = \frac{30,75 + 76,25}{2} = 53,5^\circ\text{C}. \quad (4.9)$$

Значення  $t_{xW}$ ,  $t_{xF}$ ,  $t_{xP}$  взяті із діаграми  $t - x$ , у

Середня мольна маса

$$M_{x \text{ сеп}} = M_A \cdot x_{\text{сеп}} + M_B \cdot (1 - x_{\text{сеп}}), \quad (4.11)$$

$$M_{x \text{ сеп}} = 98,97 \cdot 0,4622 + 92,13 \cdot (1 - 0,4622) = 95,29 \text{ кг/кмоль}.$$

Середня густина рідини визначається за формулою:

$$\rho_{x \text{ сеп}} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \bar{x}_{\text{сеп}} + \rho_A(1 - \bar{x}_{\text{сеп}})} \quad (4.12)$$

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

$$\rho_A = 1203,75 \text{ кг/м}^3, \rho_B = 834,17 \text{ кг/м}^3, \text{ при } t_{x \text{ сеп}} = 53,5^\circ\text{C}$$

$$\rho_{x \text{ сеп}} = \frac{1203,75 \cdot 834,17}{834,17 \cdot 0,4622 + 1203,75(1 - 0,4622)} = 972,12 \text{ кг/м}^3.$$

Середню в'язкість розраховують за рівнянням:

$$\lg \mu_{x \text{ сep}} = x_{\text{сep}} \cdot \lg \mu_A + (1 - x_{\text{сep}}) \cdot \lg \mu_B \quad (4.13)$$

де  $\mu_A$  и  $\mu_B$  – динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А та В, Па·с.

$\mu_A = 0,527$  мПа·с,  $\mu_B = 0,393$  мПа·с при  $t_{\text{сep}} = 53,5$  °С .

$$\lg \mu_{x \text{ сep}} = 0,4622 \cdot \lg 0,527 + (1 - 0,4622) \cdot \lg 0,393 = -0,798$$

$$\mu_{x \text{ сep}} = 0,33 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Середню силу поверхневого натягу визначають за рівнянням:

$$\sigma_{x \text{ сep}} = \sigma_A \cdot x_{\text{сep}} + \sigma_B \cdot (1 - x_{\text{сep}}), \quad (4.14)$$

де  $\sigma_A$  и  $\sigma_B$  – сили поверхневих натягів компонентів А та В, Н/м.

$\sigma_A = 27,61 \cdot 10^{-3}$  Н/м,  $\sigma_B = 27,44 \cdot 10^{-3}$  Н/м при  $t_{x \text{ сep}} = 53,5$  °С .

$$\sigma_{x \text{ сep}} = 27,61 \cdot 10^{-3} \cdot 0,4622 + 27,44 \cdot 10^{-3} (1 - 0,4622) = 27,51 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}.$$

Коефіцієнти дифузії при середній температурі  $t_{x \text{ сep}}$  визначають за рівнянням :

$$D_{x(t)} = D_{x(20)} [1 + b \cdot (t - 20)], \quad (4.15)$$

де  $D_{x(20)}$  – коефіцієнт дифузії при  $t = 20$  °С, м<sup>2</sup>/с;

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}}, \text{ тут } \mu \text{ [мПа}\cdot\text{с]} \text{ и } \rho \text{ [кг/м}^3\text{]} - \text{в'язкість та густина розчинника}$$

(води) при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$$t = t_{x \text{ сеп.}}$$

Коефіцієнт дифузії при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  розраховують за емпіричним рівнянням :

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

де  $V_A$  и  $V_B$  – мольні об'єми компонентів А и В,  $\text{см}^3/\text{моль}$ ;

А, В – коефіцієнти, які залежать від властивостей компонентів,  $A = 1$ ;

$B = 1$

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} = \frac{0,2\sqrt{0,586}}{\sqrt[3]{866}} = 0,0038. \quad (4.16)$$

Мольні об'єми компонентів :

$$V_A = 92,4 \text{ см}^3/\text{моль};$$

$$V_B = 59,2 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1,4,7 \cdot \sqrt{1,005} \left( 92,4^{1/3} + 59,2^{1/3} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{98,97} + \frac{1}{92,13}} = 2,6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$D_{x(t)} = 2,6 \cdot 10^{-9} \cdot 1,1273 = 2,93 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Парова фаза.

Середня мольна концентрація у нижній частині колони:

$$y_{сер}^H = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,0139 + 0,4285}{2} = 0,2212.$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{сер}^в = \frac{y_F + y_D}{2} = \frac{0,4285 + 0,9785}{2} = 0,7035.$$

Середня мольна концентрація у колоні:

$$y_{сер} = \frac{y_{сер}^H + y_{сер}^в}{2} = \frac{0,2212 + 0,7035}{2} = 0,4623.$$

Середня температура у нижній частині колони:

$$t_{у\ сер}^H = 106,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{у\ сер}^в = 95,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температури  $t_{y_{сер}}^H$ ,  $t_{y_{сер}}^B$  вишукані з діаграми  $t - x, y$ ).

Середня температура у колоні:

$$t_{y_{сер}} = \frac{t_{y_{сер}}^H + t_{y_{сер}}^B}{2} = \frac{106,7 + 95,1}{2} = 100,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Середня мольна маса

$$M_{y_{сер}} = M_A \cdot y_{сер} + M_B \cdot (1 - y_{сер}), \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} M_{y_{сер}} &= 98,97 \cdot 0,4623 + 92,13 \cdot (1 - 0,4623) = \\ &= 95,29 \text{ кг/кмоль}. \end{aligned}$$

Середня густина:

$$\rho_{y_{сер}} = \frac{M_{y_{сер}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T}, \quad (4.18)$$

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

$$\rho_{y_{сер}} = \frac{95,29}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 100,9)} = 3,006 \text{ кг/м}^3.$$

Середня в'язкість :

$$\frac{M_{y_{сер}}}{\mu_{y_{сер}}} = \frac{y_{сер} \cdot M_A}{\mu_{y_A}} + \frac{(1 - y_{сер}) \cdot M_B}{\mu_{y_B}}, \quad (4.19)$$

де  $\mu_{y_A}$  и  $\mu_{y_B}$  – динамічні коефіцієнти в'язкості пари компонентів А та В;

$$\mu_{y_A} = 1,16 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}, \mu_{y_B} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с} \text{ при } t_{y_{сер}} = 100,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\frac{25,67}{\mu_{y_{сер}}} = \frac{0,548 \cdot 32}{1,2 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,548) \cdot 18}{1,15 \cdot 10^{-5}},$$



$$\mu_{y \text{ сеп}} = 1,184 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Коефіцієнт дифузії для паровій фази визначають за рівнянням :

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{P \cdot \left( V_A^{1/3} + V_B^{1/3} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \quad (4.20)$$

де  $P = 1 \text{ кгс/см}^2$  (тиск у колоні атмосферний);

$$T = 273 + t_{y \text{ сеп}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 373,9^{3/2}}{1 \cdot \left( 92,4^{1/3} + 133,2^{1/3} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{98,97} + \frac{1}{92,13}} = 8,762 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}.$$

4.4. Діаметр колони визначають за рівнянням.

Витрата пари, яка підіймається колоною, може бути розрахована як

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y \text{ сеп}}} = \frac{G_D \cdot (R+1)}{\rho_{y \text{ сеп}}} = \frac{2479,27 \cdot (2,69+1)}{3600 \cdot 3,006} = 0,8453 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.21)$$

Тоді діаметр колони

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} = \sqrt{\frac{0,8453}{0,785 \cdot 1,6}} = 0,82 \text{ м}. \quad (4.22)$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони  $D = 0,8$  м та уточнюємо швидкість пари у колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,8453}{0,785 \cdot 1,6^2} = 1,34 \text{ м/с.} \quad (4.23)$$

Число теоритичних тарілок  $n_t = 17,5$  штук

Виразуємо число дійсних тарілок:

$$n_d = \frac{n_t}{\eta} = \frac{17,5}{0,6} = 29,16 \text{ шт} \quad (4.24)$$

приймаємо 29 дійсних тарілок

Висота колони

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} = (29 - 1) \cdot 0,5 + 0,8 + 2,0 = 17,3 \text{ м.} \quad (4.25)$$

#### 4.5 Розрахунок підігрівача

Рівняння теплового балансу для підігрівника вихідної суміші:

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot C_F' \cdot (t_{XF} - t_n) = G_{r.p.} \cdot r_{r.p.}, \quad (4.26)$$

де  $t_{XF}$  – температура кипіння вихідної суміші;

$t_n$  – початкова температура суміші.

Теплові втрати приймають в розмірі 5% від корисної теплоти, що затрачується.

Питома теплоємність вихідної суміші

(4.27)

де  $c_A, c_B$  – питомі теплоємності метилового спирту та води при середній

температурі  $t_{X_F}^{сер} = \frac{t_{X_F} + t_n}{2} = \frac{56,5 + 16}{2} = 36,25 \text{ } ^\circ\text{C}; (4.28)$

$$c_A = 0,2781 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}; c_B = 0,4111 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, [1, \text{ с. } 562]; \text{ таблиця } 8 \text{ Додатку } A.$$

$$c'_F = 0,45 \cdot 0,2781 + (1 - 0,45) \cdot 0,4111 = 0,348 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 1460,634 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot c'_F (t_{X_F} - t_n), (4.29)$$

$$Q = 1,05 \cdot \frac{5500}{3600} \cdot 1460,634 (56,5 - 16) = 71464,56 \text{ Вт}$$

Витрата пари, що гріє:

$$G_{г.п.} = \frac{Q}{r_{г.п.}} = \frac{71464,56}{2106 \cdot 10^3} = 0,0339 \text{ кг/с}, (4.30)$$

де  $r_{г.п.} = 2106 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$  при  $P = 5,5 \text{ кгс/см}^2$  [1, с. 550]; таблиця 9 Додатку А

Середня різниця температур

$$154,6 \quad \longrightarrow \quad 154,6$$

$$16 \quad \longrightarrow \quad 56,5$$

Температура насиченої водяної пари при  $P = 5 \text{ кгс/см}^2$  складає  $154,6^\circ\text{C}$

[3, с. 550]; таблиця 10 Додатку А.

Пропонуємо знизити параметр паращо гріє, подається на підігрівач це дозволить знизити різницю температур кожуха і трубок і вибрати в якості підігрівача одноходової теплообмінник з нерухомими трубками і лінзовим компенсатором на кожусі.

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\bar{\sigma}} = 105 - 16 = 89 \text{ } ^\circ\text{C};$$

менша різниця температур:

$$\Delta t_M = 105 - 56,5 = 48,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\text{Так як } \frac{\Delta t_{\bar{\sigma}}}{\Delta t_M} = \frac{89}{48,5} = 1,83 < 2, \text{ то середню різницю температур} \quad (4.31)$$

визначаємо за рівнянням :

$$\Delta t_{\text{сер}} = \frac{\Delta t_{\bar{\sigma}} + \Delta t_M}{2} = \frac{89 + 48,5}{2} = 68,75 \text{ } ^\circ\text{C}. (4.32)$$

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

Поверхня теплообміну підігрівника вихідної суміші

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{сер}}} = \frac{71464,56}{250 \cdot 68,75} = 4,157 \text{ м}^2. (4.33)$$

Вибирають одноходовий теплообмінник з нерухомими трубками і лінзовим компенсатором на кожусі [7, с. 51]:

- діаметр кожуха 273 мм;
- труба  $\text{Ø } 25 \times 2$  мм;

- довжина труб 1500мм;
- поверхня теплообміну 5 м<sup>2</sup>.

## 5. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІРУ СІТЧАСТОЇ ТАРІЛКИ

Дипломна робота є частиною комплексної роботи, яка виконувалась групою студентів, для визначення оптимальних діаметрів отворів сітчастої тарілки для розділення суміші діхлоретан-толуол. Для оснащення ректифікаційної колони були запропоновані сітчаті тарілки, розмір отворів яких складає: 5, 8, 12 та 20 мм. Необхідно було довести що розмір отворів сітчастої тарілки впливає на розмір (об'єм) ректифікаційної колони.

З одного боку зменшення діаметру отворів формує розвинену поверхню контакту фаз, що збільшує ефективність масопередачі. З другого боку малі отвори сітчастої тарілки сприятимуть збільшенню швидкості пари при вході в шар рідини, що є наслідком раннього виходу краплин рідини із-за збільшеної роздробленості рідини. В результаті рідина перекидується з тарілки на тарілку, зменшую рухому силу масопередачі.

Проведено розрахунковий експеримент. Розрахунок об'єму колони проводився за формулами:

$$N_n = \frac{n_T}{\eta}, (5.1)$$

$$H = (n_n - 1) \cdot h, (5.2)$$

(5.3)

$$V=H \cdot S, (5.4)$$

де  $n_T$  – число дійсних тарілок,  $n_d$  – число дійсних тарілок;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії;  $H$  – висота тарілчастої частини колони,  $m$ ;  $h$  – 0.5 м, відстань між тарілками,  $m$ ;  $D_{роз}$  – розрахунковий діаметр колони,  $m$ ;  $S$  – площа поперечного перерізу колони,  $m^2$ ;  $V$  – ефективний об'єм,  $m^3$ ;

Для розрахунку ефективного об'єму колони в таблиці 5.1 представлені вихідні дані отворів та розрахункові дані відповідного об'єму тарільчастою ректифікаційної колони.

Таблиця 5.1 – Залежність об'єму колони від діаметру отворів в сітчастих тарілках для суміші діхлоретан-толуол

$d_0$ , мм	5	8	12	20
$V$ , $m^3$	8,7333	8,392	7,4954	10,1738

Графік залежності ефективного об'єму ректифікаційної колони від діаметру отворів в сітчастих тарілках, представлений на рисунку 5.1., де можна визначити оптимальний розмір діаметру отвору сітчастої тарілки, що дорівнює  $d_{отв} = 11$  мм

Оптимальний розмір діаметру отворів сітчастої тарілки може бути виправданим з економічної точки зору. Так відношення об'єму колони з діаметром отворів 20 мм до об'єму колони з діаметром отворів  $d_{опт} = 11$  мм складає

$$\frac{V_{d20}}{V_{опт}} = \frac{10.1738}{7.6453} = 1,33 \quad (5.5)$$

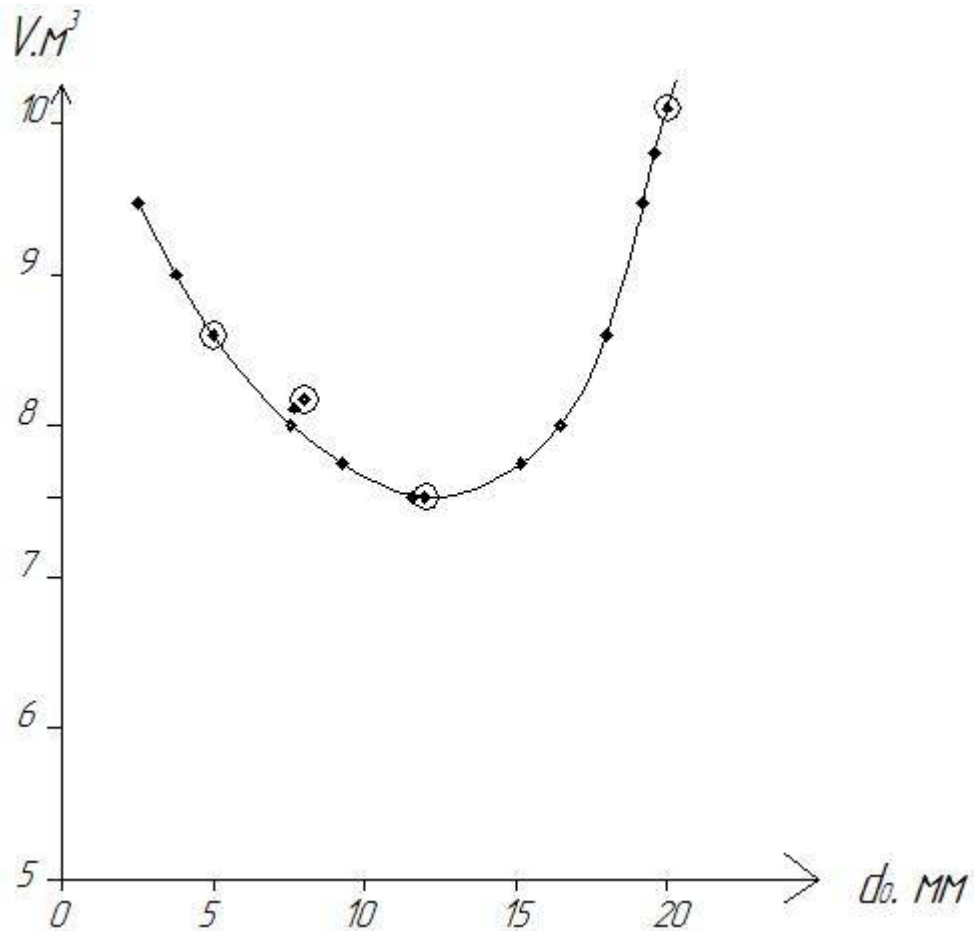


Рисунок 5.1 – Графік залежності об'єму колони від діаметру отворів в сітчастих тарілках.

Можно предриктищо, колона з оптимальним діаметром отворів в виготовленні буде дешевшою на 33 %

Результати комплексної роботи підтверджують наукові дослідження зроблені на кафедрі [19] і можуть бути використовані при розробці галузевого стандарту.



## 6. РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДГРІВАЧА

### 6.1. Початкові дані

Тип апарата –

теплообмінник  $\frac{\text{ТНВ-273-1,0-1,0-M11-O}}{25-1,5-1-1/4}$  У ТУ 26-02-1102-89

Теплообмінник

Внутрішній 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  $i$  ..... 1

Розрахунковий тиск у трубному просторі  $P_T$ , МПа ..... 0,05

Розрахунковий тиск у міжтрубному просторі  $P_K$ , МПа ..... 0,65

Розрахункова температура труб  $t_T$ , °С ..... 105

Розрахункова температура кожуха  $t_K$ , °С ..... 56,5

Матеріал кожуха .....

10X17H13M2T

Матеріал розподільної камери, кришки, трубної решітки та теплообмінних труб.....сталь марки 10X17H13M2T

Середовище в трубному просторі – пожежовибухонебезпечне, шкідливе, 3 класа небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76

Середовище в міжтрубному просторі – пожежовибухонебезпечне, шкідливе, 3 класу небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76

Група теплообмінника по трубному просторі ..... 1

Група теплообмінника по міжтрубному просторі ..... 4

Загальне число циклів навантаження ..... 1000

Ескіз розраховуваного теплообмінника приведено на рисунку 6.1.

## 6.2. Розрахункова температура

Розрахункову температуру розподільної камери  $t_k^*$ , °C, визначаємо за формулою [3]

$$t_{кам} = 2 t_m - t_k = 2 \cdot 105 - 56.5 = 153,5 \text{ °C.} \quad (6.1)$$

Розрахункову температуру ізолюваних фланців визначаємо за формулою [4, 16]

$$t_\phi = t, \quad (6.2)$$

де розрахункова температура апарата, °C.

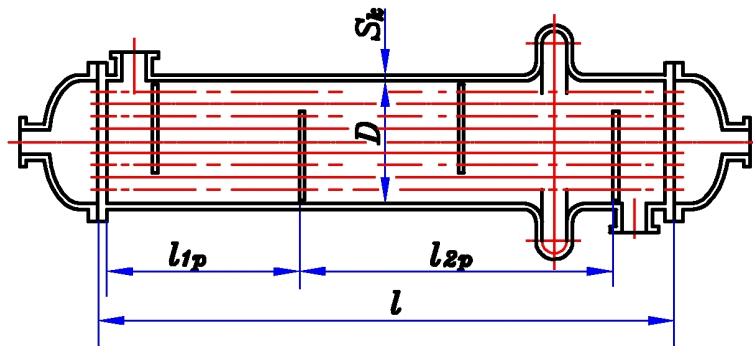


Рисунок 6.1 – Кожухотрубчастий теплообмінник з лінзовим компенсатором

Розрахункову температуру ізолюваних апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери теплообмінника приймаємо рівною температурі розподільної камери, тобто  $t_\phi = t_{кам} = 153,5 \text{ °C}$ .

Розрахункову температуру ізолюваних фланців штуцерів кожуха приймаємо рівною температурі середовища міжтрубного простору тобто  $t_\phi = t_k = 56.5 \text{ °C}$ .

Розрахункову температуру болтів для ізолюваних фланцевих з'єднань визначаємо за формулою [4, 16]

$$t_\phi = 0,97 t. \quad (6.3) \text{ Розрахункова температура}$$

болтів корпусних фланцевих з'єднань та фланців штуцерів розподільної камери дорівнює

$$t_\phi = 0,97 t_{кам} = 0,97 \cdot 153,5 = 148,9 \text{ °C} .$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

$$t_{\sigma} = 0,97t_k = 0,97 \cdot 56,5 = 55^{\circ}\text{C}.$$

### 6.3. Допустимі напруження

Допустимі напруження при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  і при температурі  $20^{\circ}\text{C}$   $[\sigma]_{20}$ , МПа,

Таблиця 6.1 Допустимі напруження матеріалів елементів підігрівача.

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напруження, МПа		Відношення допустимих напружень, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі $20^{\circ}\text{C}$ , $[\sigma]_{20}$	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	10X17H13M2T	184	160	1,15
Болти й гайки фланцевих з'єднань штуцерів кожуха	10X17H13M2T	184	160	1,15

Пробний тиск, при якому проводиться випробування апарата, визначаємо за формулою [6, 18]

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

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

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружин  $[\sigma]_{20}/[\sigma]=1,15$  пробний тиск складає

$$P_{np\ m} = 1,25 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,65 \cdot 1,15 = 0,93 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника складає [18]

$$P_{z\ mp} = \rho_g \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} = 0,014 \text{ МПа,} \quad (6.5)$$

де  $H_c$  – висота стовпа води у трубному просторі.

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{z\ mp} = 0,014 \leq 0,05 P_{np\ m} = 0,05 \cdot 0,288 = 0,0144 \text{ МПа}$$

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

$$P_{i\ m} = P_{np\ m} = 0,93 \text{ МПа.}$$

Умова

$$P_{i\ m} = 0,93 \text{ МПа} \leq 1,35 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,65 \cdot 1,15 = 1 \text{ МПа} \quad (6.6)$$

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

Для міжтрубного простору при відношенні допустимих напружин  $[\sigma]_{20} / [\sigma] = 1,04$  пробний тиск складає

$$P_{пк} = 1,25 P_{\kappa} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,05 \cdot 1,04 = 0,065 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{\rho\kappa} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H_{\kappa} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,57 \cdot 10^{-6} = 0,031 > \quad (6.7)$$

$$> 0,05 P_{пк} = 0,05 \cdot 0,065 = 0,03 \text{ МПа}$$

складає понад 5% від пробного, тому розрахунковий тиск в умовах випробувань розраховуємо за формулою

$$P_{i\kappa} = P_{пк} + P_{\rho\kappa} = 0,065 + 0,03 = 0,095 \text{ МПа.} \quad (6.8)$$

Умова

$$P_{i\kappa} = 0,095 \leq 1,35 P_{\kappa} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,05 \cdot 1,04 = 0,096 \text{ МПа}$$

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

#### 6.4 Коефіцієнти міцності зварних швів

Трубний простір теплообмінника за розрахунковим тиском, температурою та характером робочого середовища відноситься до 1 групи посудин [8, 18], для якої довжина контрольованих швів складає 100 % від їх загальної довжини. Для стикових швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичною зваркою, коефіцієнт міцності зварних швів трубного простору приймаємо рівним  $\varphi_p = 1,0$  [6, 18].

Міжтрубний простір теплообмінника за розрахунковим тиском, температурою та характером робочого середовища відноситься до 4 групи посудин, для яких довжина контрольованих швів складає не менше 25 % від загальної довжини кожного шва. Для стикових (поздовжніх) швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичною зваркою, при контрольованій довжині швів

від 10 до 50 %, коефіцієнт міцності зварних швів міжтрубного простору приймається рівним  $\varphi_p = 0,9$ .

Для стикових (кільцевих) швів, які доступні зваренню лише з одного боку та мають в процесі зварки металеву підкладку з боку кореня шва, котра прилягає по всій довжині шва до основного металу, при контрольованій довжині швів від 10 до 50 %, коефіцієнт міцності зварних кільцевих швів міжтрубного простору приймаємо рівним  $\varphi_m = 0,8$ .

### 6.5 Додатки до розрахункових величин

Суми додатків до розрахункових величин визначаємо за формулою

$$C = C_1 + C_2, \quad (6.9)$$

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

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

Додаток для компенсації корозії та ерозії  $C_1$  розраховуємо за формулою [18]

$$C_1 = P \cdot \tau + C_3 \text{ мм}, \quad (6.10)$$

де  $P$  – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

$\tau$  – розрахунковий строк служби теплообмінника, років;

$C_3$  – додаток для компенсації ерозії, мм.

Додаток для компенсації ерозії не враховуємо, приймаючи, що теплообмінник працює з чистими рідкими середовищами (без твердих або абразивних частинок), а швидкість руху середовища складає менше 20 м/с.

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

Додаток для компенсації корозії та ерозії складає:

– для труб з боку трубного та міжтрубного просторів [8]

$$C_{1m} = 0 \text{ мм};$$

– для кожуха

$$C_{1к} = P_{к} \cdot \tau = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ мм.} \quad (6.11)$$

Добавку для компенсації мінусового допуску  $C_2$ , мм, приймаємо за методичними вказівками [18] або за стандартом [6].

### 6.6 Розрахунок кожуха теплообмінника

Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки кожуха теплообмінника

Розрахункову товщину стінки кожуха від дії внутрішнього тиску визначаємо за формулою [6, 18]

$$S_{pk} = \frac{P_{к} \cdot D}{2 [\sigma]_{к} \cdot \varphi_p - P_{к}}, \quad (6.12)$$

де  $P_{к}$  – розрахунковий тиск у міжтрубному просторі теплообмінника при розрахунковій температурі, МПа;

$D$  – внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

$\varphi_p$  - коефіцієнт міцності поздовжніх зварних швів.

$$S_{pk} = \frac{0,65 \cdot 273}{2 \cdot 160 \cdot 0,9 - 0,65} = 0,62 \text{ мм.}$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо за формулою

$$S \geq S_p + C. \quad (6.13)$$

Відповідно галузевому стандарту [8] приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха рівною  $S_{к} = 6$  мм. Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевих листа товщиною 6 мм складає  $C_2 = 0,2$  мм. Добавку

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

враховуємо, так як вона перевищує 5 % від номінальної товщини листа.

Сума добавок до розрахункової товщини стінки кожуха складає

$$C_{к} = C_{1к} + C_{2к} = 0,5 + 0,6 = 1,1 \text{ мм.} \quad (6.14)$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо за формулою

$$S_{\kappa} \geq S_{p\kappa} + C_{\kappa} = 0,62 + 1,1 = 1,72 \text{ мм.} \quad (6.15)$$

Остаточно приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха рівною  $S_{\kappa} = 6$  мм [8, 18].

Допустимий внутрішній надлишковий тиск в кожусі визначаємо за формулою [6, 18]

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 160 \cdot 0,9 \cdot (6 - 0,65)}{273 + (6 - 0,65)} = 5,53 \text{ МПа.} \quad (6.16)$$

Умова міцності

$$P_{\kappa} = 0,65 \leq [P]_{\kappa} = 1,92 \text{ МПа}$$

виконується.

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{6 - 1,1}{273} = 0,0179 \leq 0,1 \quad (6.17)$$

виконується.

## 6.7 Визначення товщини трубної решітки

Товщину трубної решітки приймаємо рівною 20 мм із наступною перевіркою на міцність та жорсткість.

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою (3)

$$\begin{aligned} P &= \max \{ |P_m|; |P_{\kappa}|; |P_T - P_{\kappa}| \} = \\ &= \max \{ 0,65; 0,05; |0,2 - 0,2| \} = 0,4 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (6.19)$$

Розрахункову товщину трубної решітки за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо за формулою (2)

$$S_{pp} = 0,5 D_e \sqrt{P/[\sigma]_p} = 0,5 \cdot 34,9 \sqrt{0,4/160} = 0,012 \text{ мм,} \quad (6.20)$$

де  $D_e$  – діаметр окружності, вписаної в максимальну безтрубну зону, визначаємо конструктивно.



Виконавчу товщину трубної решітки за умови міцності максимальної безтрубної зони визначаємо за формулою (1)

$$S_p \geq S_{pp} + C_p = 0,012 + 1,1 = 1,112 \text{ мм.} \quad (6.21)$$

Коефіцієнт ослаблення трубної решітки визначаємо за формулою

$$\varphi_p = 1 - d_0/t_p = 1 - 25,15/32 = 0,214. \quad (6.22)$$

Розрахункову товщину трубної решітки в перерізу канавки під поздовжню перегородку визначаємо за формулою (6)

$$\begin{aligned} S_{np} &= S_{pp} \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_n} \cdot \left( \frac{t_n}{t_p} - 1 \right)}; \sqrt{\varphi_p} \right\} = \\ &= 0,75 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{25,15}{8} \cdot \left( \frac{55,4}{32} - 1 \right)}; \sqrt{0,214} \right\} = \\ &= 0,75 \cdot \max \{-1,3; 0,463\} = 0,347 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (6.23)$$

Товщина трубної решітки в перерізу під поздовжню перегородку в розподільній камері має бути не менше (5)

$$S_n \geq S_{np} + C_p = 0,347 + 1,1 = 1,447 \text{ мм.} \quad (6.24)$$

З конструктивних міркувань приймаємо товщину трубної решітки в перерізу канавки під поздовжню перегородку в розподільній камері рівною 24 мм.

## 6.8 Розрахунок компенсатора на міцність

Умови застосування розрахункових формул:

$$\frac{S_L}{d_H} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_L}{d_H} \leq 3,00; \quad \frac{2r}{D_L - d_H} \leq 0,4 \quad (6.25)$$

$$\frac{S_L}{d_H} = \frac{8}{273} = 0,029 < 0,035;$$

$$1,08 < \frac{D_L}{d_H} = \frac{422}{273} = 1,54 < 3,00;$$

$$\frac{2r}{D_n - d_n} = \frac{2 \cdot 24,6}{422 - 273} = 0,33 < 0,4.$$

виконуються.

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$d_1 = d_n - S_n = 273 - 8 = 265 \quad (6.26)$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_2 = D_n - S_n = 422 - 8 = 414 \quad (6.27)$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$r_s = 0,5 \cdot (2 \cdot r + S_n) = 0,5(2 \cdot 24,6 + 8) = 28,6 \quad (6.28)$$

Допоміжну величину впливу переходу розраховуємо по формулі:

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{r}{d_1 + d_2} = 2 - 100 \cdot \frac{28,6}{265 + 414} = 2,21 \quad (6.29)$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$b_n = 0,5 \cdot (d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s) = 0,5 \cdot (414 - 265 + 0,09 \cdot 24,6) = 75,6 \text{ мм} \quad (6.30)$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховуємо по формулі:

$$R_0 = 0,25 \cdot (d_2 + d_1 - 2 \cdot b_n) = 0,25 \cdot (414 + 265 - 2 \cdot 75,6) = 131,95 \text{ мм} \quad (6.31)$$

Середній діаметр хвилі компенсатора визначаємо по формулі:

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (d_2 + d_1) = 0,5 \cdot (414 + 265) = 339,5 \quad (6.32)$$

Характеристики хвилі обчислюємо по формулах:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 = \frac{414}{265} - 1 = 0,56 \quad (6.33)$$

$$n = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot r_s} - 2 = \frac{414 - 265}{2 \cdot 24,6} - 2 = 1,028 \quad (6.34)$$

$$\alpha = S_n / d_1 = 8/265 = 0,03; \quad (6.35)$$

$$\lambda = \frac{b_n}{R_0} \quad (6.36)$$

$$\lambda = b_n / R_0 = 75,6/131,95 = 0,57; \quad (6.37)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 \cdot r_s}{d_2 - d_1} = 1 + 1,25 \cdot \frac{414}{265} - \frac{3,2 \cdot 24,6}{414 - 265} = 2,42$$

Розрахункову товщину  $S_3$ , мм, розраховуємо по формулі:

$$\begin{aligned} S_3 &= 0,25(d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P/[\sigma]} = \\ &= 0,25 \cdot (414 - 265 - 2,42 \cdot 24,6) \cdot \sqrt{0,5/160} = 2,89 \end{aligned} \quad (6.38)$$

Розрахункову товщину стінки компенсатора  $S_4$ , мм, визначаємо по формулі:

$$\begin{aligned} S_4 &= \frac{P \cdot d_{cp}}{2[\sigma] \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2l_k + 2,3r_s} = (6.39) \\ &= \frac{0,5 \cdot 339,5}{2 \cdot 160 \cdot 0,9} \cdot \frac{74}{414 - 265 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 24,6} = 0,2 \text{ мм} \end{aligned}$$

де  $L = 72 \text{ мм}$  – виконавча довжина компенсатора [13];

$l_k = 5 \text{ мм}$  – приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора [13].

Розрахункову товщину стінки компенсатора  $S_{np}$  визначаємо по формулі:

$$S_{np} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 \cdot \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} = 0,2 \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (2,89/0,2)^4}} = 2,89 \quad (6.40)$$

Суму добавок до розрахункової товщини стінки лінзового компенсатора при її товщині  $S_n = 3$  мм ухвалюємо рівної  $0,22$  мм [14].

Виконавчу товщину стінки лінзового компенсатора розраховуємо по формулі:

$$S_n \geq S_{np} + C_n = 1,78 + 0,22 = 2,00 \text{ мм}$$

Остаточно ухвалюємо виконавчу товщину стінки компенсатора рівної  $3$  мм

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_1 = 16 \cdot \left( \frac{S_n - C_n}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_n \quad (6.41)$$

$$[P]_1 = 16 \cdot \left( \frac{3 - 0,22}{559 - 405 - 2,173 \cdot 16} \right)^2 \cdot 151 = 6,22 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск  $[P]_2$  визначаємо по формулі:

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma]_n \cdot \phi \cdot (S_n - C_n)}{d_{cp}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 \cdot l_k + 2,3 \cdot r_s}{L} \quad (6.42)$$

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 151 \cdot 1 \cdot (3 - 0,22)}{482} \cdot \frac{559 - 405 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{72} = 5,18 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск визначаємо по формулі:

$$[P]_n = \frac{[P]_1}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P]_1}{[P]_2} \right)^2}} \quad (6.43)$$

$$[P]_n = \frac{6,22}{\sqrt{1 + \left( \frac{6,22}{5,18} \right)^2}} = 2,98 \text{ МПа}$$

## 6.9 Розрахунок компенсатора на малоциклову втомленість

Так як точні дані про числа циклів  $N_\sigma$  і  $N_p$  відсутні, приймаємо

$$N_{\sigma} = N_p = 0,5 N = 500.$$

Допустиму амплітуду інтенсивності напруження від розмаху тисків розраховуємо за формулою

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - t}{2300} \cdot \frac{0,45 \cdot 10^5}{\sqrt{n_N \cdot N}} + \frac{0,66 \cdot R_m^{20} - 0,43 \cdot R_e^{20}}{n_{\sigma}} \quad (6.44)$$

$$[\sigma]_{ap} = \frac{2300 - 65}{2300} \cdot \frac{0,45 \cdot 10^5}{\sqrt{10 \cdot 500}} + \frac{0,66 \cdot 460 - 0,43 \cdot 250}{2} = 902,3 \text{ МПа.}$$

Напруження від деформації розраховуємо за формулою

$$\sigma_{\omega} = \frac{E_l \cdot S_l}{n_l \cdot b_l^2} \cdot (2 + \lambda) \cdot \Delta \varpi \quad (6.45)$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{194,5 \cdot 10^3 \cdot 3}{2 \cdot 52,7^2} \cdot (2 + 0,398) \cdot 1,04 = 120 \text{ МПа}$$

Із деяким збільшенням у бік запасу міцності приймаємо  $\Delta P = P$  і  $[\Delta P] = [P]_l$

Напруження від тиску визначаємо за формулою

$$\sigma_p = 3[\sigma]_l \cdot \frac{\Delta P}{[\Delta P]} \quad (6.46)$$

$$\sigma_p = 3 \cdot 151 \cdot \frac{1}{2,98} = 317 \text{ МПа.}$$

$$\text{Умова міцності } \frac{\sigma_{\omega}}{2[\sigma]_{\omega}} + \frac{\sigma_p}{2[\sigma]_{ap}} = \frac{120}{2 \cdot 902,3} + \frac{317}{2 \cdot 902,3} = 0,24 < 1,0$$

Виконується.

## 7. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА

Теплообмінник складається з багатьох позицій. Так три обичайки зварюються між собою кільцевими швами. До них приварюються два днища також кільцевими швами. Частіше за все в якості допоміжного механічного обладнання використовують роликовий стенд. Найбільш трудомісткою операцією при виготовленні кожухотрубчатих теплообмінників є збирання трубочок. Збирання, як правило, роблять у спеціальних пристроях, які строго фіксують положення трубних решіток. Якщо трубчатка складається з великого числа труб, то під час складання пристосування встановлюють вертикально, при малому числі труб - горизонтально. Набір трубок ведуть від центру до периферії. При виборі і створенні теплообмінної апаратури необхідно враховувати такі важливі чинники, як теплове навантаження апарату, температурні умови процесу, фізико-хімічні параметри робочих середовищ, умови теплообміну, характер гідравлічних опорів, його корозійну стійкість та термін експлуатації.

Хімічні продукти в тій чи іншій мірі завжди викликають корозію матеріалу апарату, тому для виготовлення їх застосовуються різні метали (залізо, чавун, алюміній) і їх сплави. Найбільше застосування знаходять сталі. Завдяки здатності змінювати свої властивості залежно від складу, можливості термічної і механічної обробки сталі з низьким змістом вуглецю добре штамнуються, але погано обробляються різанням. При виготовленні теплообмінників використовують нержавіючі сталі.

При підготовці до зварювання теплообмінників необхідно врахувати те, що вони виготовляються з високолегованих конструкційних сталей и тому необхідно врахувати спеціальні вимоги для цих сталей. Недоліком такого теплообмінника є підвищена металоємність. Цей недолік обумовлений великою

товщиною торцевої стінки корпусу через ослаблення її осьовим отвором під колектор, а також використанням частини бічної стінки колектора для організації підведення і відведення теплоносія, яка має суттєвий вагу і розташована за межами корпусу теплообмінника. Тому необхідно знижувати металоємність теплообмінника. В теплообміннику, що містить корпус і розміщений в ньому колектор, в торцевій стінці першого з яких виконано осьовий отвір, а колектор встановлений співвісно щодо останнього і виконаний з днищем, і патрубками для теплоносія, причому торцева стінка корпусу в зоні отвори, і днище колектора виконані опуклими і з'єднані між собою, поставлена мета досягається тим, що днище колектора виконано сферичним з кривизною, більшої кривизни торцевої стінки корпусу в зоні отвору, і встановлено в останньому, а, щонайменше, один патрубок розміщений в днище колектора. Виконання днища колектора сферичним з кривизною, більшої кривизни торцевої стінки корпусу в зоні осьового отвору, і розміщення патрубків для теплоносія в днище колектора дозволяє позбутися від частини останнього, розташованої за межами корпусу, і організувати підведення і (або) відведення теплоносія через днище колектора, що знижує металоємність цього колектора, а значить і теплообмінника. Установка днища колектора в осьовому отворі торцевої стінки корпусу закриває цей отвір, робить цю стінку як би без отвору, що за умовою міцності знижує необхідну товщину, а значить і металоємність цієї стінки. Таким чином, завдяки сукупності відмінних ознак у заявляється теплообмінника з'являється нова властивість, що веде до досягнення нового позитивного ефекту, що полягає в зниженні металоємності теплообмінника. Також зниження металоємності даної конструкції, може проходити шляхом застосування нових конструкційних елементів. А саме, для виготовлення теплообмінника можливо застосовувати b-металічні конструкційні елементи. Такі матеріали повинні складатись з декількох шарів, приклад : з двох, в якому перший шар не реагував (не кородував) з елементами охолодження, а другий - забезпечував механічні характеристики роботи приладу.

Використання таких конструкційних елементів знизить товщину стінок, тим самим знизить металоємність. При однаковій поверхні теплообміну економічніше апарат з більш довгими трубками по-перше, знижуються маса і вартість корпусу, оскільки зменшується його діаметр по-друге, при зменшенні діаметра корпусу підвищуються швидкості агентів в трубному та міжтрубному просторах, що збільшує загальний коефіцієнт теплопередачі. Слід зазначити, що застосування довгих трубок, хоча і знижує вартість виготовлення теплообмінника.

У випадках виготовлення теплообмінників з дорогих антикорозійних матеріалів конструкції і розміри апарату повинні бути ретельно продумані з урахуванням вимог економії. В інших випадках можна йти на збільшені понад розрахункових розміри теплообмінника для підвищення, наприклад, надійності і безпеки його роботи. У хімічній промисловості вирішальне значення для вибору розміру поверхні нагрівання або охолодження може мати також необхідність застосування одного і того ж теплообмінника для обробки різних продуктів.

Виготовлення теплообмінників розглянутої конструкції щодо складно, так як зварні елементи повинні бути точно вивірені і опорні площини рейок повинні бути ретельно оброблені. Однак такі теплообмінники хороші тим, що в відомі інтервали часу можна в один і той же простір поперемінно подати одну або іншу рідину. Кришки зазначених приладів мають по обом сторонам по дві горловини для того, щоб можна було здійснити перемикання поперемінним закриванням однієї і відкриванням іншого горловини. Якщо, наприклад, в якості гріючого теплоносія застосовується пар, а нагрівається рідина може інкрустувати поверхонь нагріву, то після відомого проміжку часу в простір, де протікала рідина, подається пар, застосований для нагріву, а рідина, навпаки, вводиться в простір, де перед цим був пар.

Порядок укладання труб залежить від конструкції теплообмінника і визначається нею способом захисту зворотного боку шва при обварка труб. Так,



наприклад, при виготовленні теплообмінників з плаваючою головкою труби укладають і ошпарюють по одній. При захисті зворотного боку шва використовують роз'ємне пристосування. При виготовленні U-образних теплообмінників набирають весь комплект труб.

Муфтові з'єднання типів а і б застосовують, наприклад, при виготовленні теплообмінників з графітними трубами, довжина яких обмежена розмірами графітних блоків, з яких труби виточуються. Для непроникності нарізного сполучення в якості ущільнювача застосовують мастику з підвищеним вмістом рідких компонентів.

Іноді при різних значеннях  $a$  і  $a$ , (враховують температуру, при якій виготовлений теплообмінник,  $t 20^\circ$

Капітальні витрати  $K$  складаються з витрат на виготовлення апарату і його монтаж, причому витрати на монтаж дуже малі в порівнянні з вартістю виготовлення теплообмінника, і ними можна знехтувати. Коли за технологічною схемою робота теплообмінника нерозривно пов'язана з роботою обслуговуючих його насосів або компресорів, в капітальні витрати повинна бути включена їх повна вартість або її частина, пропорційна частці  $p$  потужності, що витрачається на подолання гідравлічного опору теплообмінника, від усієї необхідної потужності на переміщення теплоносія

Витрати на виготовлення теплообмінників регенеративного типу досить великі, а поверхня теплообміну на одиницю об'єму становить сотні квадратних метрів. В якості робочого речовини в них застосовується насадка з алюмінію.

Для ефективної роботи теплообмінника бажано, щоб середня частина була виконана з найменшим діаметром при цьому забезпечується максимальна швидкість продукту і, отже, створюються оптимальні умови для теплопередачі.

Це і є причиною виготовлення теплообмінників зі змінним діаметром по довжині. Однак зменшувати діаметр середньої частини апарату має сенс лише

при значних розмірах плаваючою головки. При застосуванні малогабаритної плаваючою головки відпадає необхідність у виготовленні теплообмінників змінного діаметру. Малогабаритна плаваюча головка вільно розташовується і в найменшому перетині кожуха.

Таким чином, за тепловим і габаритним характеристикам теплообмінний апарат з профільних поверхонь значно економічніше теплообмінних апаратів з гладких листів і трубчастих теплообмінників. Крім того, технологія виготовлення теплообмінників з профільних листів значно простіше через можливість механізації більшості основних операцій.

Корозія. Додаткові джерела корозії - кислі опади] поверхні металу (гальванічне дію), ерозійний знос поверхні металів, а також слабкий контроль за кислотністю розчину. Великою проблемою є корозія від напруженості металу, яка зазвичай виникає при невдалому виборі матеріалу для виготовлення апаратури. Якщо установка погано запроектована, то проблему корозії не вирішує навіть додавання в розчин відповідних інгібіторів, хоча в цьому часто виникає необхідність. Для виготовлення апаратури можна застосовувати звичайну вуглецеву сталь за умови, що на установці буде проводитися суворий контроль. У разі підвищеної корозії рекомендується застосовувати сталь марок 304 і 316. Є повідомлення про успішне застосування для виготовлення теплообмінників стали марки 7072, плакованої алюмінієм. Випробовувалися також стали, плаковані іншими металами і покриті пластиком. Про результати застосування пластикового покриття немає єдиної думки. Є повідомлення про успішне застосування і негативні висновки, хоча справа здається досить простим ізолювати метал пластиком і вжити заходів до виключення течі (проколів) в цій ізоляції. Додаток 7 г КазСОд на 1 л розчину іноді сприяє зменшенню корозії. Для поглинання кисню в розчин додається гідрозин.

Органічні покриття з хімічної і термічною обробкою широко використовуються взагалі в промисловості, в тому числі при виготовленні теплообмінників, особливо конденсаторів, що працюють на морській воді, коли

відсутність забруднень компенсується зростанням термічного опору плівки покриття. Високоміцні епоксидні смоли, вулканізованої на повітрі, можуть застосовуватися до температури 70 ° С, а оттоженіе фенольні смоли - до температур 80 (в сирих умовах) і 120 °С (в сухих умовах). Дуже важливим є контроль за якістю підготовлюваної поверхні, нанесенням покриття і сушінням остаточні приймальні випробування повинні включати випробування на нерозривність плівки .

## 8. РЕМОНТ ПІДГРІВАЧА

Їх доводиться зупиняти при наступних основних несправностях: забруднення поверхні теплообміну і поява пропусків рідини, тобто порушення герметичності. Ремонт теплообмінних апаратів полягає в очищенні поверхні нагріву від накипу та інших забруднень, ремонті поверхні нагрівання, порушенні герметичності в місцях розвальцьовування труб у трубних решітках або розрив труб і т.д. Потребу у ремонті встановлюють при обстеженні внутрішніх поверхонь труб, доступних для ремонту і механічного чищення. Візуальному огляду підлягають тільки кришки, кінці та внутрішні канали труб, штуцери на корпусі і кришках. Дефекти решти частин апарату можуть бути виявлені тільки при обпресуванні. Крім зазначених операцій проводять ремонт запірних пристроїв та ізоляції. Існує кілька методів очищення поверхонь теплообміну: механічний, хімічний, термічний і гідравлічний. Механічний метод зводиться до очищення накипу шляхом скобління або відбивання його спеціальним інструментом і різними пристосуваннями. Інструмент для механічного очищення ділиться на дві групи: пристосування, не пошкоджують внутрішньої поверхні труб, що очищують і інструмент, здатний завдавати ушкодження. Очищення труб роблять за допомогою шарошок, які призводять до дії від електродвигуна, гідроприводу і пневмоприводу через гнучкий вал або шланг. Кожну трубу в кожухотрубному теплообміннику проходять шарошками зверху вниз і навпаки.

Під час очищення у трубу подають воду для змивання накипу й охолодження головок шарошок. Для очищення теплообмінників з трубчастою поверхнею нагріву доцільно застосовувати приводи зі зворотно-поступальними рухами використовуючи тельфери або електролебідки. У цьому випадку проводиться очистка одночасно кількох труб. Основним недоліком механічного методу очищення труб - можливість пошкодження поверхневого шару металу,

це призводить до швидшого зносу труб. Крім того, цей метод трудомісткий і не забезпечує повного очищення від накипу особливо у важко доступних місцях. Хімічне очищення виконується при очищенні і в міжтрубному просторі. При цьому методі відбувається розм'якшення осаду на поверхнях нагріву, це досягається за допомогою концентрованої і каустичної соди. Накип потім розчиняється слабким розчином соляної кислоти. Після промивають гарячою водою і чистять щіткою і металевими йоржами. Гідравлічне очищення засноване на здатності струменя води високої швидкості (понад 50 м/с) видаляти накип. Цей метод використовується при видаленні пухкого накипу і шлакоутворення. Струмінь води виходить під великим тиском із сопла, ріже і відриває від стінок відкладення. Час очищення однієї труби дорівнює 10 – 15. Гідність такого методу - можливість очищення внутрішніх і зовнішніх поверхонь труб, а також корпусу безпосередньо на місці установки апарата. Широкий діапазон зміни тиску (від 15 до 70 МПа) дає можливість видаляти відкладення практично будь-якої твердості.

Термічне очищення засноване на використанні різниці коефіцієнтів теплового розширення накипу і металу. Поверхню нагріву (звільнену від рідини) спочатку підігрівають редукованим перегрітим паром, а потім охолоджують холодною очищеною хімічним способом водою. У результаті частинки накипу відскакують від поверхні нагрівання і видаляються вручну або промиваються. Цей метод застосовують у тому випадку, якщо буде встановлено, що накип, що вимагає видалення, при нагріванні стає твердим і крихким. У теплообмінниках типу "труба в трубі" застосовується пневмомеханічний спосіб очищення. Чистка здійснюється зубчастої металевією втулкою-шомполом. Втулка-шомпол рухається від одного кінця труби до іншого під напором повітря тиском 0,5-0,6 МПа. Напрямок потоку повітря змінюється за допомогою розподільника повітря. Гумові прокладки ущільнюють місця з'єднань і амортизують удари шомпола. Для чищення U-образних труб застосовують гнучкий шланг. Очищення труб за допомогою

води і повітря називається гідропневматичним. У забруднену трубу одночасно подаються вода і стиснене повітря.

Стисле повітря, розширюючись, різко збільшує швидкість руху води, яка починає переміщатися трубою послідовними водяними пробками з інтенсивними завихреннями. Спільний рух води і повітря швидко руйнують відкладення на стінках труб, очищаючи їх. Одночасна подача в трубу води і повітря здійснюється за допомогою водоповітряного пістолета. Повітря під тиском 0,7-0,8 МПа і вода під тиском 0,5-0,6 МПа при співвідношенні 1:1 подаються за допомогою шлангів.

Гідропневматичне очищення труб дозволяє зменшити час очищення у порівнянні з механічним у 8 - 10 разів, значно рідше піддавати очищенню теплообмінники, підвищити продуктивність праці.

Збірка, розбирання, опресовування;

Очищення пластин від забруднень;

Розбірне очищення пластин теплообмінника із застосуванням хімічних реагентів;

Бернадський очищення пластин теплообмінника із застосуванням хімічних реагентів;

Заміна пластин і прокладок в теплообміннику;

Заміна комплектуючих деталей рами в теплообміннику

ремонт теплообмінників

Поставка пластин для теплообмінників

Поставка ущільнень для теплообмінників

Збільшення потужності теплообмінників

## Механічне очищення теплообмінників розбірних

Очищення теплообмінників розбірних зазвичай здійснюється механічним способом.

видалення шламу з поверхні пластин;

відсутність пошкоджень в процесі очищення і збереження цілісності

обладнання;

гарна якість при невисокій вартості робіт;

виконання робіт в оптимальний термін, заздалегідь обумовлений з

замовником;

безпеку співробітників при проведенні робіт з очищення;

відсутність забруднення навколишнього середовища.

Очищення теплообмінників - процедура досить трудомістка і по суті проста. Виконується вона вручну спеціальними йоржами, але вимагає участі майстрів виключно високої кваліфікації. Пояснюється це існуючим ризиком пошкодження самих пластин і прокладок, їх розділяють (особливо якщо встановлені клейові прокладки). Проте, після розбирання і чищення вони ретельно перевіряють теплообмінник пластинчастий і при необхідності замінюють комплект ущільнень, гарантуючи відсутність в майбутньому течі, викликаній пошкодженою прокладкою.

### Переваги та недоліки механічного очищення

Механічне очищення теплообмінників - це величезна перевага теплообмінників розбірних. Цей спосіб досить надійний і користується великою популярністю в нашій країні.

Роботи, що виконуються не вимагають використання дорогого устаткування, тому вартість такої послуги невисока. Великим плюсом методу є відсутність забруднення навколишнього середовища, так як в процесі роботи не використовуються хімічно агресивні речовини.

Недоліком методу механічного очищення можна назвати неповне видалення утворилися відкладень. Теплообмінник накопичує їх поступово: спочатку утворюється тонка поверхнева плівка, на яку в процесі експлуатації нашаровуються повторні відкладення. Поверхневий пухкий осад при механічному впливі видаляється повністю, а ось сама плівка, за рахунок високої адгезії, залишається на поверхні пластини. Це і є основною причиною повторного накопичення накипу і шламу.

#### Хімічна та гідродинамічна промивка теплообмінників

Гідродинамічна промивка теплообмінників проводиться із застосуванням установки, яка розподіляє водянні струмені під тиском до півтори тисячі бар. Зазвичай теплообмінник перед промиванням розбирається, але трубчасті пристрої в цьому не мають потреби. Для видалення особливо значних відкладень може застосовуватися і крупнофракційний пісок. Підвищує ефективність методу застосування різних насадок, які забезпечують необхідні натиск і кут розподілу струменя і дозволяють проникнути в будь-який теплообмінник пластинчастий.

#### Переваги і недоліки методів промивання

Найбільш ефективна гідродинамічна промивка теплообмінників.

До її переваг відносяться:

висока якість видалення відкладень;

збереження поверхонь теплообмінника;



хороша продуктивність методу, а значить мінімальний простий теплообмінника;

екологічність процесу і його безпеку для співробітників.

Є свої переваги і у хімічної промивки. Після неї теплообмінник пластинчастий повністю відновлює свою початкову пропускну здатність. Хімічна промивка теплообмінників замінює процедуру капітального ремонту, хоча коштує в кілька разів дешевше. Вся процедура виконується дуже швидко, за один цикл.

До мінусів способу відносяться:

знос металу, який настає вже після трьох-чотирьох хімічних промивок;

відносно висока вартість хімічних реагентів;

висока витрата води для промивок;

великий обсяг стоків, що містять токсичні речовини.

## 9. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

При експлуатації теплообмінних апаратів необхідно керуватися «Правилами пристрою і небезпеки експлуатації судів працюючих під тиском. Установки, які працюють під надлишковим тиском більше  $0,7 \text{ кг/см}^3$ , повинно бути зареєстрована в місцевій інспекції Держтехнагляду. На кожний апарат заводяться шнурові книги для реєстрації результатів випробувань. Керівництво виробництва повинно провести необхідні організаційно-технічні заходи з створення безпечних умов праці, а також затвердити інструкцію з техніки безпеки для кожного робочого місця. Інструктаж обслуговуючого персоналу проводиться не рідше 1 разу в 3 місяці з реєстрацією в спеціальному журналі. Необхідно проводити аналіз причин виникнення нещасних випадків і розроблювати додаткові заходи, які можуть запобігти їх повторення. Обслуговуючий персонал повинен гарно вивчити конструкцію апарату, технологічний режим, призначення і розташування трубопроводів, арматурні контрольно-вимірювальних приборів, інструкцію з техніки безпеки і здати техніку з обслуговуванні установки. Категорично забороняється підвищувати тиск та температуру в апаратах і трубопроводах більше за допустимі межі. Необхідно слідкувати за щільністю фланцевих з'єднань та справністю огорожі в рухаючі деталях. Змащування рухаючі деталей і набивка сальників на ходу не дозволяється. Огляд і ремонт внутрішніх частин апарату допускається тільки після його охолодження до температури  $30^\circ\text{C}$ . При цьому роботу повинні вести дві людини: один – у внутрішній частині апарату, другий – ззовні.

Освітлення в середині апарату, так же як і електроінструменти, дозволяється використовувати 12 В. Під час робіт в середині апарату всі трубопроводи для подачі в них пари, продукту, води і т. ін., повинні бути

відключені, а на запорній арматурі повинні бути вивішені таблички «Не включати працюють люди».

Конструкція посудин повинна забезпечувати надійність і безпеку експлуатації протягом розрахункового терміну служби і передбачати можливість проведення технічного опосвідчення, очистки, промивки, повного спорожнення, продування, ремонту, експлуатаційного контролю металу та з'єднань.

Для кожної посудини має бути встановлений і вказаний в паспорті розрахунковий термін служби з урахуванням умов експлуатації.

Пристрої, які заважають зовнішньому і внутрішньому оглядам посудин (мішалки, змійовики, оболонки, тарілки, перегородки та інші пристосування), повинні бути, як правило, знімними.

При застосуванні приварних пристроїв повинна бути передбачена можливість їх видалення для проведення зовнішнього і внутрішнього оглядів і подальшої установки на місце. Порядок знімання і установки цих пристроїв має бути вказаний в керівництві по експлуатації посудини.

Якщо конструкція посудин не дозволяє проведення зовнішнього та внутрішнього огляди або гідравлічне випробування, передбачені вимогами Правил, розробником проекту посудини в керівництві по експлуатації повинні бути вказані методика, періодичність та обсяг контролю, виконання яких забезпечить своєчасне виявлення та усунення дефектів. У разі відсутності в керівництві таких вказівок методика, періодичність та обсяг контролю визначаються спеціалізованою організацією.

Конструкції внутрішніх пристроїв повинні забезпечувати видалення із посудин повітря при гідравлічному випробуванні і води після гідравлічного випробування.

Посудини повинні мати штуцери для наповнення і зливу води, а також для видалення повітря при гідравлічному випробуванні.

На кожній посудині повинні бути передбачені вентиль, кран або інший пристрій, що дозволяє здійснювати контроль за відсутністю тиску в посудині перед його відкриванням; при цьому відведення середовища повинен бути напрямлений в безпечне місце.

Розрахунок на міцність посудин та їх елементів повинен проводитися за діючою НД, узгодженою з Держнаглядом України. Судини, призначені для роботи в умовах циклічних і знакозмінних навантажень, повинні бути розраховані на міцність з урахуванням цих навантажень.

При відсутності нормативного методу розрахунок на міцність повинен виконуватися за методикою, погодженою із спеціалізованою науково-дослідною організацією.

Судини, які в процесі експлуатації змінюють своє положення в просторі, повинні мати пристрій, який унеможливує їх самоперекидання.

Конструкція посудин, які обігріваються гарячими газами, повинна забезпечувати надійне охолодження стінок, що знаходяться під тиском, до розрахункової температури.

Для перевірки якості приварки кілець, що зміцнюють отвори для люків, лазів і штуцерів, повинен бути нарізний контрольний отвір в кільці, якщо воно приварене із зовнішнього боку, або в стінці, якщо кільце приварене з внутрішнього боку посудини.

Ця вимога поширюється також і на приварювані ззовні до корпусу накладки або інші зміцнюють елементи.

Зовнішні глухі елементи (наприклад, накладки), що не працюють під тиском, повинні мати дренажні отвори в найнижчих місцях.

Заземлення та електричне обладнання посудин повинні відповідати правилам технічної експлуатації електроустановок споживачіві правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів в установленому порядку.

#### Люки, лючки, кришки

Посудини повинні бути забезпечені необхідною кількістю люків та оглядових лючків, що забезпечують огляд, очистку і ремонт посудин, а також монтаж і демонтаж розбірних внутрішніх пристроїв.

Посудини, що складаються з циліндричного корпусу і решіток із закріпленими в них трубками (теплообмінники), і судини, призначені для транспортування і зберігання криогенних рідин, а також посудини, призначені для роботи з речовинами 1-го і 2-го класу небезпеки за ГОСТ 12.1. 007-76, які не викликають корозії і накипу, допускається виготовляти без люків і лючків незалежно від діаметру посудин за умови виконання вимоги п. 2.1.4 Правил.

Посудини з внутрішнім діаметром більше 800 мм повинні мати люки, а з внутрішнім діаметром 800 мм і менше - лючки.

Внутрішній діаметр круглих люків мусить бути не менше 400 мм. Розміри овальних люків за найменшою і найбільшою осями на просвіту повинні бути не менше  $325 \times 400$  мм.

Внутрішній діаметр круглих або розмір за найменшою віссю овальних лючків повинен бути не менше 80 мм.

Люки, лючки необхідно розташовувати в місцях, доступних для обслуговування. Вимоги до обладнання, розміщення та обслуговування

оглядових вікон в барокамерах визначаються проектною організацією і вказуються в інструкції з монтажу та експлуатації заводу-виготовлювача.

Кришки люків повинні бути знімними. На посудинах, ізольованих на основі вакууму, допускаються приварні кришки.

Кришки масою більше 20 кг повинні бути забезпечені підйомно-поворотними або іншими пристроями для їх відкривання і закривання.

### Проектування

Проекти посудин та їх елементів (в тому числі запасних частин до них), а також проекти їх монтажу або реконструкції повинні виконуватися головними (конструкторськими) організаціями, що мають дозвіл органів Держнаглядохоронпраці України на виконання відповідних робіт.

При проектуванні, виготовленні, монтажі та ремонті посудин вибухопожежонебезпечних виробництв повинні виконуватися вимоги «Загальних правил вибухобезпечності для вибухопожежонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв».

Керівники і фахівці, зайняті проектуванням, виготовленням, реконструкцією, монтажем, налагодженням, ремонтом, діагностикою та експлуатацією посудин, повинні пройти перевірку знань цих Правил відповідно до «Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку працівників з питань охорони праці», затверджених Держнаглядохоронпраці України.

Проекти і технічні умови на виготовлення посудин повинні бути узгоджені та затверджені в установленому порядку.

Будь-які зміни в проекті та нормативних документах (НД), необхідність в яких може виникнути при виготовленні, реконструкції, монтажі, налагодженні, ремонті або експлуатації посудин, повинні бути узгоджені з організацією – розроблювачем проекту і НД. У разі неможливості виконання цієї умови допускається погодження змін у проекті і НД з головною організацією.

Відступи від НД допускаються за узгодженням з організацією, яка затвердила цю документацію. Якщо вказані документи узгоджені з Держнаглядом України, то і відступи повинні бути узгоджені з Держнаглядом України.

Відхилення від цих Правил можуть бути допущені тільки у виняткових випадках з дозволу Держнаглядом України. Для отримання дозволу необхідно подати Держнаглядом України відповідні обґрунтування, а в разі необхідності – також висновок ЕТЦ або головної (додаток 1) чи спеціалізованої організації, що має дозвіл Держнаглядом України, отриманий в установленому порядку. Копія дозволу на відхилення від Правил додається до паспорта посудини.

Відповідність посудин або їх елементів вимогам цих Правил повинна бути підтверджена виготовлювачем (постачальником) сертифікатом відповідності, виданим органом з сертифікації, акредитованим Держстандартом України. Копія сертифіката відповідності додається до паспорта посудини.

### Відповідальність за порушення Правил

Ці Правила обов'язкові для виконання всіма посадовими особами, фахівцями та громадянами, зайнятими проектуванням, виготовленням, реконструкцією, монтажем, ремонтом, налагодженням, технічним діагностуванням та експлуатацією посудин.

За правильність конструкції посудини, розрахунку її на міцність та вибору матеріалу, за якість виготовлення, монтажу, налагодження, ремонту та технічного діагностування, а також за відповідність посудини вимогам цих Правил відповідає організація або підприємство (незалежно від форм власності, відомчої належності та господарської діяльності), що виконували відповідні роботи.

Видача посадовими особами вказівок або розпоряджень, що змушують підлеглих порушувати Правила безпеки та інструкції з безпечної експлуатації

посудин, самовільне відновлення робіт, припинених органами Держнаглядодохоронпраці, а також невжиття заходів для усунення порушень

Правил та інструкцій, які допускаються робітниками та іншими підпорядкованими особами, є грубим порушенням цих Правил.

Особи, винні у порушенні цих Правил, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну або кримінальну відповідальність згідно з чинним законодавством.

### Днища посудин

У посудинах застосовуються днища: еліптичні, напівсферичні, торосферичні, сферичні невідбортовані, конічні відбортовані, конічні невідбортовані, плоскі відбортовані, плоскі невідбортовані.

Еліптичні днища повинні мати висоту випуклої частини, виміряну по внутрішній поверхні, не менше 0,2 внутрішнього діаметра днища. Допускається зменшення цієї величини за узгодженням з головною організацією.

Торосферичні (коробові) днища повинні мати:

- висоту випуклої частини, виміряну по внутрішній поверхні, не менше 0,2 внутрішнього діаметра;
- внутрішній радіус відбортовки не менше 0,1 внутрішнього діаметра днища;
- внутрішній радіус кривизни центральної частини не більше внутрішнього діаметра днища.

Сферичні невідбортовані днища можуть застосовуватись з приварними фланцями, при цьому:

- внутрішній радіус сфери днища повинен бути не більше внутрішнього діаметра посудини;
- зварне з'єднання фланця з днищем виконується з суцільним проваром.



У зварних випуклих днищах за винятком напівсферичних, що складаються з декількох частин із розташуванням зварних швів по хорді, відстань від осі зварного шва до центру днища повинна бути не більше  $1/5$  внутрішнього діаметра днища. Кругові шви випуклих днищ повинні розміщуватися на відстані не більше  $1/3$  внутрішнього діаметра днища.

Конічні невідбортовані днища повинні мати центральний кут не більше  $45^\circ$ . За висновками головної організації з апаратобудування, центральний кут може бути збільшений до  $60^\circ$ .

Плоскі днища з кільцевою канавкою і циліндричною частиною (бортом), виготовлені механічною розточкою, повинні виготовлятися з поковки. Допускається виготовлення відбортованого плоского днища з листа, якщо відбортовка виконується штамповкою або обкаткою кромки листа з вигином  $90^\circ$ .

Для відбортованих і перехідних елементів посудин, за винятком випуклих днищ, компенсаторів і витягнутих горловин під приварку штуцерів, відстань  $L$  від початку закруглення відбортованого елемента до відбортованої кромки в залежності від товщини  $S$  стінки відбортованого елемента.

### Зварні шви та їх розташування

При зварюванні обичайок і труб, приварюванні днищ до обичайок мають застосовуватись стикові шви з повним проплавленням.

Допускаються зварні з'єднання втавр і кутові з повним проплавленням для приварювання плоских днищ, плоских фланців, трубних решіток, штуцерів, люків, оболонок.

Застосування напусків зварних швів допускається при приварюванні до корпусу закріплюючих кілець, опорних елементів, підкладних листів, пластин під площадки, сходів, кронштейнів тощо.

Конструктивний зазор у кутових і таврових зварних з'єднаннях допускається у випадках, передбачених НД, узгодженою з Держнаглядом України.

Зварні шви повинні бути доступні для контролю при виготовленні, монтажі та експлуатації посудин, передбаченого вимогами цих Правил, відповідних стандартів і технічних умов.

Поздовжні шви суміжних обичайок і шви днищ посудин повинні бути зміщені відносно один одного на величину трикратної товщини найбільш товстого елемента, але не менше ніж на 100 мм між осями швів.

Указані шви допускається не зміщувати відносно один одного в посудинах, призначених для роботи під тиском не більше 1,6 МПа (16 кгс/см<sup>2</sup>) і при температурі стінки не вище 400 °С, з номінальною товщиною стінки не більше 30 мм за умови, що ці шви виконуються автоматично або електрошлаковою зваркою і місця перетину швів контролюються методом радіографії, або ультразвуковою дефектоскопією в обсязі 100 %.

При приварюванні до корпусу посудини внутрішніх і зовнішніх пристроїв (опорних елементів, тарілок, оболонок, перегородок та ін.) допускається перетин цих зварних швів із стиковими швами корпусу за умови попередньої перевірки перекриваючої ділянки шва корпусу методом радіографії або ультразвуковою дефектоскопією.

У разі приварювання опор або інших елементів до корпусу посудини відстань між кінцем зварного шва посудини і кінцем шва приварки елементів повинна бути не менше товщини стінки корпусу посудини, але не менше 20 мм.

Для посудин із вуглецевих і низьколегованих марганцевистих, кремніймарганцевистих сталей які підлягають після зварювання термообробці, незалежно від товщини стінки корпусу, відстань між кінцем зварного шва посудини і кінцем шва приварки елемента повинна бути не менше 20 мм.

У горизонтальних посудинах допускається місцеве перекриття сідловими опорами кільцевих (поперечних) зварних швів на загальній довжині не більше 0,35  $\pi D$ , а за наявності підкладного листа – не більше 0,5  $\pi D$ , де  $D$  – зовнішній

діаметр посудини. При цьому ділянки зварних швів, які перекриваються, по всій довжині повинні бути перевірені методом радіографії або ультразвуковою дефектоскопією.

У стикових зварних з'єднаннях елементів посудин з різною товщиною стінок повинен бути забезпечений плавний перехід від одного елемента до другого шляхом поступового стоншення кромки більш товстого елемента. Кут нахилу поверхонь переходу не повинен перевищувати  $20^\circ$ .

Якщо різниця в товщині з'єднувальних елементів складає не більше 30 % товщини тонкого елемента і не перевищує 5 мм, то допускається застосування зварних швів без попереднього стоншення товстого елемента. Форма швів повинна забезпечувати плавний перехід від товстого елемента до тонкого.

При стикуванні литої деталі з деталями із труб, прокату або поковок необхідно враховувати, що номінальна розрахункова товщина литої деталі на 25–40 % більше аналогічної розрахункової товщини стінки елемента із труб, прокату або поковок, тому перехід від товстого елемента до тонкого повинен бути виконаний таким чином, щоб товщина кінця литої деталі була не менше номінальної розрахункової величини.

#### Розміщення отворів у стінках посудин

Отвори для люків, лючків і штуцерів повинні розміщуватись, як правило, поза зварними швами.

Допускається розміщення отворів:

– на поздовжніх швах циліндричних і конічних обичайок посудин, якщо номінальний діаметр отворів не більше 150 мм;

– на кільцевих швах циліндричних і конічних обичайок посудин без обмеження діаметра отворів;

– на швах випуклих днищ без обмеження діаметра отворів за умови 100 % перевірки зварних швів днищ методом радіографії або ультразвуковою дефектоскопією.

Зварні шви штуцерів і люків повинні виконуватись з повним проплавленням.

На торосферичних днищах допускається розміщення отворів тільки в межах центрального сферичного сегмента. При цьому відстань від центру днища до зовнішньої кромки отвору, вимірювана по хорді, повинна бути не більше  $0,4D$  ( $D$  – зовнішній діаметр днища).

## ВИСНОВКИ

За результатом виконання дипломної роботи отримали основні висновки:

1. В Аналітичному огляді розглянуті основні поняття процесу перегонки та ректифікації в хімічній промисловості, розглянули поверхневу інформацію про теплообмінники.

2. Розробили технологічну схему побачили що входить до технологічної схеми, як проходить процес.

3. Вибрали конструкційні матеріали підігрівача, наш підігрівач виготовлений з 10X17H13M3T.

4. Визначили основні розміри колони та підігрівача. Розміри колони склали: діаметр – 800 мм, кількість тарілок колоні – 29 шт., висота колони – 17,3 м., Розміри підігрівача вихідної суміші при виборі одноходового кожухотрубчастого теплообмінника склали: діаметр кожуха – 273 мм; розмір труби 25x2 мм; кількість труб в теплообміннику шт.; довжина труб – 1,5 м; поверхня теплообміну –  $5 \text{ м}^2$ .

5. Визначили оптимальний розмір отворів в тарілках мм, з'ясували що колона з оптимальним діаметром отворів буде дешевшою в виготовленні на 33 %.

5. Провели розрахунки на міцність.

6. Розробили технологію виготовлення , підігрівача та його

конструкційних частин.

7.Розробили план ремонту підігрівача та його конструкційних частин , від різних несправностей і різне чищення трубок.І знаємо переваги і недоліки ремонту підігрівача.

8.Розробили техніку безпеки експлуатації і ремонту підігрівачата як зробити безпечні умови праці.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Касаткин А.Г. Основні процеси и апарати хімічної технології [Текст] / А.Г. Касаткин. – М.: Хімія, 1973. – 752 с.
2. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процеси и апарати хімічної технології, 4-е изд.] / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Каган. – М.: Хімія, 1967. – 848 с
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Приклади і завдання по курсу процесів і апаратів хімічної технології [Текст] / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – Л.: Хімія, 1987. – 576 с.
4. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процеси и апарати хімічної і нафтохімічної технології, 3-е изд. [Текст] / А.Н. Плановский, П.И. Николаев.– М.: Хімія, 1987. – 496 с.
5. Справочник хіміка, т. 5. – М.: Хімія, 1968. – 975 с.
6. Судаков Е.Н. Розрахунки основних процесів и апаратів нафтопереработки. Справочник [Текст] / Під редакцією Е.Н. Судакова, 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 568 с.
7. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Под ред. Дытнерского Ю.И. Основні процеси і апарати хімічної технології, 2-е изд., перераб. и дополн. [Текст] / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский – М.: Химия, 1991. – 496 с.
8. Кужель В.В., Смыкалов К.А., Ковалюк Н.И. и др. Ємнісні сталльні апарати заводу «Павлоградхиммаш». Каталог. [Текст] / В.В. Кужель, К.А. Смыкалов, Н.И. Ковалюк и др – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1989. – 32 с.
9. Коган В.Б., Фридман В.М, Кафаров В.В. Рівновага між Рідиною і паром. Справочное пособие, книга 1-я и 2-я. . [Текст] / В.Б.

Коган, В.М. Фридман, В.В. Кафаров. – М.-Л.: Наука, 1966. – 640 с. – 786 с.

10. Иванченко В.В., Архипов О.Г., Штонда Ю.М. Конструювання та розрахунок колонних апаратів: навчальний посібник. [Текст] / В.В. Иванченко, О.Г. Архипов, Ю.М. Штонда.– Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В.Даля. – 2015. – 324 с.

11. Дытнерский Ю.И. и др. Колоні апарати. Каталог [Текст] / Под ред. Ю.И. Дытнерского 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – 220 с.

12. Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основні теплофізичні свойства газів і рідин. Номографічений справочник [Текст] / А.К. Чернышев, В.Г. Коптелов, В.В. Листов, Н.Д. Заичко. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.

13. Доманский И.В., Исаков В.П. и др. Под общей редакцией Соколова В.Н. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи. – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.

14. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Справочник/Под редакцией Судакова Е.Н., 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979. – 568 с.

15. Борисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. и др. Под ред. Дытнерского Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии, 2-е изд., перераб. и дополн. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

16. Коган В.Б., Фридман В.М., Кафаров В.В. Равновесие между жидкостью и паром. Справочное пособие, книга 1-я и 2-я. – М.-Л.: Наука, 1966. – 640 с. + 786 с.

17. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.

18. Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу "Процессы и аппараты химической промышленности". – Л.: Химия, 1985. – 54 с.

19.Мемедляев З.Н, Бондарь П.Ф, Москалик В.М, . Хімічна промисловість України.-2015.-№6. С.27-28