

## РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему:

«Установка ректифікації суміші ацетон – етанол потужністю 713000 т/рік по вихідній суміші з розробкою підігрівача».

Листів – \_\_\_\_, ілюстрацій – \_\_\_\_, таблиць – \_\_\_\_, посилань – \_\_\_\_.

МАСООБМІН, РЕКТИФІКАЦІЯ, КОЛОНА, ТАРІЛКА,  
ТЕПЛООБМІННИК, ПІДІГРІВАЧ, ФЛЕГМА

В данній дипломній роботі розглянуто установку ректифікації суміші ацетон-етиловий спирт з розробкою підігрівача:

На основі аналітичного огляду вибрана конструкція підігрівача, розміри якого отримані з технологічного розрахунку.

Виходячи з умов роботи і характеристик робочого середовища підібрані конструкційні матеріали;

Роботоспроможність апарата підтверджена розрахунками на міцність, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативно-технічною документацією;

Розглянуті питання технології виготовлення підігрівача, його монтаж і ремонт;

Висвітлені питання техніки безпеки.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВСТУП

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

2 ОПИС ТЕХНОГОЛІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І  
ПІДГРІВАЧА

3 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ПІДГРІВАЧА

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ПІДГРІВАЧА

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДГРІВАЧА

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА

7 РЕМОНТ ПІДГРІВАЧА

8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$B$  – ширина, м;

$C_p$  – масова теплоємність за сталого тиску, Дж/(кг·град);

$D$  – діаметр, м;

$d$  – діаметр штуцера, м;

$F$  – поверхня контакту, м;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>·град);

$t$  – температура °С;

$w$  – швидкість потоку рідини, м/с;

$\omega$  – кутова швидкість

$Q$  – тепловий потік, Вт;

$m$  – витрата речовини, кг/с;

$c$  – теплоємність речовини (питома), Дж/(кг·К);

$G_w$  – продуктивність кубового залишку, кг/год;

$G_p$  – продуктивність по дистилляту, кг/год;

$G_F$  – продуктивність повихідній суміші, кг/год;

$M_A, M_B$  – молярна маса компонента, кг/кмоль;

$R_{min}$  – мінімальне флегмове число;

$K_R$  – коефіцієнт надлишку флегми;

$R$  – дійсне флегмове число;

$r$  – питома теплота пароутворення;

$H$  – висота середовища в апараті, м;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$P$  – розрахунковий тиск, МПа;

$P_k$  – тиск у суді під час дії запобіжного клапана, МПа;

$P_r$  – гідростатичний тиск, МПа;

$f$  – коефіцієнт міцности зварених швів;

$C$  –прибавка до розрахункової товщини, мм;

$\Pi$  –швидкість проникнення корозії, мм/рік;

$S_1$  – виконавча товщина стінки днища, мм;

$S_{1p}$  –розрахункова товщина стінки днища, мм;

$C_3$  –прибавка для компенсації корозії, мм;

$W_y$  – швидкість пару, м/с;

$W_\phi$  –швидкість руху потоку, м/с

$V_\phi$  –об'ємна продуктивність потоку, м<sup>3</sup>/с;

## ВСТУП

В хімічній промисловості велике значення мають процеси масообміну, які полягають в переході речовини з однієї фази в іншу шляхом молекулярної дифузії.

На явищі масообміну заснована дія ректифікаційних, абсорбційних колон. Процеси передачі тепла реалізуються в теплообмінних апаратах.

В роботі, що пропонується, розглядається апаратне оформлення процесу ректифікації суміші ацетон - етиловий спирт

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

### 1.1 Перегонка рідини

Види ректифікації:

1 Проста ректифікація. Процес реалізується в насадкових або тарільчатих ректифікаційних колонах. Переваги простої перегонки: простота конструкції; дає можливість отримання хімічно чистих продуктів. Завдяки перевагам проста ректифікація знаходить широке використання в хімічній промисловості.

2 Пароциркулярна ректифікація (евапорація) здійснюється циркулюючої водяної пари, яка циркулює в колоні. При використанні цього методу очищення домішки між рідкою і паровою фазою розподіляються по різному. В колонах для цього способу ректифікації в нижньої частині відбувається очищення рідини, а в верхній (поглинювальною) частині йде регенерація пари. Переваги цього способу: дозволяють, наприклад, розганяти природні мастила і смоли на фракції, одні з яких переганяються з водяною парою, а інші – ні.

Недоліки: домішки між рідкою і паровою фазою розподіляються по різному; час від часу треба додавати свіжу воду.

Процес ректифікації може протікати при атмосферному тиску, під вакуумом а також під надлишковим тиском.

У промисловості широко застосовують ковпачкові, ситчасті і насадкові колони. Вони розрізняються в основному конструкцією внутрішніх пристроїв.

### 1.2 Апаратурне оформлення процесів перегонки рідини

Процес перегонки рідини здійснюють в установці, що включає колону ректифікації і такі теплообмінні апарати, як дефлегматор, холодильник, підігрівач початкової суміші. Крім того також використовують ємності -

збірник дистилляту і кубового залишку. Основним апаратом установки є ректифікаційна колона. Початкова суміш подається на тарілку живлення з температурою кипіння. З верху колони виходить легкокиплячий компонент. З низу – високо киплячий.

### Конструкції ректифікаційних колон

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

В тарільчастих колонах застосовують в ковпачкові, ситчаті, решітчаті, клапанні, жалюзійно-клапанні тарілки.

Клапанні тарілки показали високу ефективність при значних інтервалах навантажень завдяки можливості саморегулювання. Клапани виготовляють у вигляді пластин круглого або прямокутного перетину з верхнім або нижнім обмежувачем підйому.

До провальних відносять тарілки решітчасті, колосникові, трубчасті,. Поверхня перетину тарілок змінюється в межах 15—30%. Рідина і пара проходять поперемінно через кожен отвір залежно від співвідношення їх натисків. Тарілки мають малий опір, високий ККД, працюють при значних навантаженнях і відрізняються простотою конструкції.

Прямоточні тарілки забезпечують тривалий контакт плівки рідини з паром, що рухається із швидкістю 14— 45 м/с. Поверхня перетину тарілки досягає 30%.

Ситчасті колони застосовують головним чином при ректифікації спирту і рідкого повітря. Допустимі навантаження по рідині і парі для них відносно невеликі, і регулювання режиму їх роботи скрутне. Масо- і теплообмін між паром і рідиною в основному походять на деякій відстані від дна тарілки в шарі піни і бризок. Тиск і швидкість пари, що проходить через отвори тарілки, мають бути достатні для подолання тиску шару

рідини на тарілці і створення опору її набряканню через отвори. Ситчасті тарілки необхідно встановлювати строго горизонтально для забезпечення проходження пари через всі отвори тарілки, а також щоб уникнути стікання рідини через них. Зазвичай діаметр отворів ситчастої тарілки приймають в межах 0,8—3,0 мм.

### 1.3 Конструкції теплообмінного обладнання

Процеси теплообміну – нагрів, охолодження, конденсація і випарювання рідких, газових, парових середовищ та їх сумішей – знаходять широке розповсюдження в хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній, харчовій та інших галузях промисловості.

Апарати, призначені для проведення теплообмінних процесів, називають теплообмінними. Ці апарати мають різноманітне конструктивне оформлення, яке залежить від характеру процесів, котрі протікають в них та умов їхнього проведення. Умови проведення процесів теплообміну в промислових апаратах надзвичайно різноманітні. Їх застосовують для робочих середовищ із різним агрегатним станом у широкому діапазоні тисків, температур та фізико-хімічних властивостей.

Передача тепла в теплообмінних апаратах здійснюється від середовища, що має більш високу температуру, до середовища з більш низькою температурою. Рушійною силою процесу теплообміну є різниця температур середовищ.

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, монтажу 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.

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, що виготовляються з неметалевих матеріалів;
- за призначенням – теплообмінники, холодильники, конденсатори та випарники;
- за взаємним напрямом робочих середовищ – прототечийні, протитечийні та змішаного току.

До сучасних теплообмінних апаратів пред'являються такі основні вимоги:

- конструкція апарату має бути технологічною, надійною, пристосованою до ремонту;
- передавати потрібну кількість тепла від одного середовища до іншого з отриманням необхідних кінцевих температур кожного робочого середовища при заданому рівні гідравлічних опорів.

Спіральні теплообмінні апарати отримали в промисловості порівняно широке розповсюдження, що пояснюється рядом важливих переваг їх порівняно із теплообмінними апаратами інших типів.

Спіральні теплообмінні апарати можуть виготовлятися із будь-якого рулонного матеріалу, який піддається холодній обробці та зварюванню. Спіральні теплообмінні апарати компактні, їх конструкція передбачає

можливість повного протитоку. Площа поперечного перерізу каналів по всій довжині залишається незмінною, і потік не має різких змін напрямку, завдяки чому забруднення поверхні спіральних апаратів менше, ніж теплообмінних апаратів інших типів. Крім того, ряд конструкцій їх дозволяє проводити порівняно легке очищення у випадку, коли не потрібне для віддалення осаду механічної дії. Гідравлічний опір при однаковій швидкості руху рідини менше, ніж у кожухотрубчастих.

За рубежем спіральні теплообмінні апарати випускають фірми Альфа-Лаваль (Швеція), APV (Англія і США), Рока апаратенбау, Фенікс-Рейнрор, Руршіль (ФРГ), Петрогаз (Голандія) та ін.

Спіральні теплообмінні апарати різних конструкцій знайшли застосування для систем рідина-рідина, для систем рідина-пара як конденсатори, підігрівачі та випарники, для охолодження і нагрівання паро-газових сумішей. Спіральні теплообмінні апарати спеціальної конструкції можуть компонуватися з ректифікаційними колонами та застосовуватися як дефлегматори.

Одно з призначень спіральних теплообмінних апаратів – нагрівання та охолодження високов'язких рідин. Так як в'язка рідина проходить по одному каналу, усувається проблема рівномірного розподілення в'язкої рідини по трубам. Спіральні теплообмінні апарати можуть успішно застосовуватися для шламів та рідин, які містять волокнисті матеріали. Застосування спіральних теплообмінних апаратів для газів обмежено малим поперечним перерізом каналу.

Спіральні теплообмінні апарати застосовуються в гідролізній промисловості як дефлегматори, рекуператори тепла у відбілювальних відділеннях, конденсаторів терпентинових парів та поверхностних конденсаторів у випарних відділеннях; в хімічній промисловості – як теплообмінники у виробництві сірчаної, азотної та фосфорної кислот, як конденсатори для різних органічних з'єднань; у коксогазовій промисловості

– для охолодження аміачної води, бензолу т. ін.

Спіральний теплообмінний апарат представляє собою два спіральних канали, навитих з рулонного матеріалу навколо центральної розділювальної перегородки (керна) (рисунок 1.1).

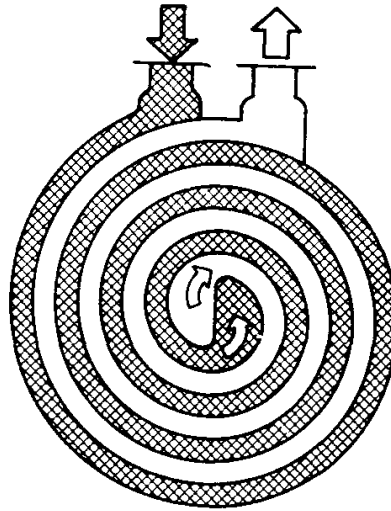


Рисунок 1.1 – Схема руху середовища в спіральному теплообмінному апараті

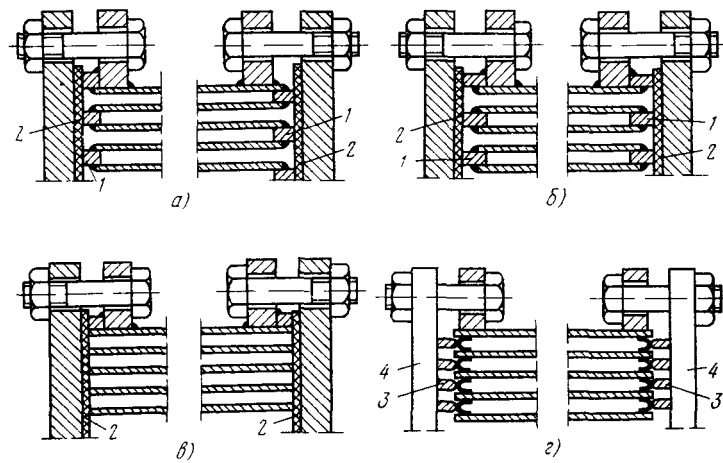
За видами ущільнення торців канали підрозділяються на три основних типи.

– тупикові канали, кожен з котрих заварюється з протилежного боку за допомогою вставленої стрічки (рисунок 1.1,а). Такий спосіб ущільнення виключає можливість змішування теплоносіїв при прориві прокладки. Після зняття кришок обидва канали легко піддаються очищенню. Цей спосіб ущільнення каналів найбільш поширений;

– сліпі канали, в яких канали заварюються на торцях з обох боків (рисунок 1.2,б). Недолік цього типу ущільнення заключається в неможливості чистки каналів;

– наскрізні канали, відкриті з торців (рисунок 1.1,в,г). Ущільнення досягається за допомогою манжет U-подібного профілю або листового прокладкового матеріалу. Канали такого типу легко піддаються очищенню, але основний їхній недолік заключається в можливості перетоку теплоносія з

одного каналу в другий.



*a* – тупикові; *б* – сліпі; *в* – наскрізні, ущільнені листовою прокладкою; *г* – наскрізні, ущільнені U-подібною прокладкою

Рисунок 1.2 – Ущільнення торців каналів

В конструкціях спіральних теплообмінних апаратів зустрічаються також різні комбінації вищезазначених каналів.

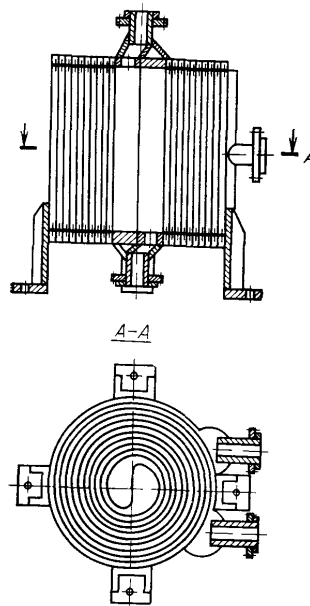
Для придання жорсткості, особливо при тиску понад 0,3 МПа, до однієї зі стрічок, як правило, приварюють штифти, які крім утворення жорсткості фіксують відстань між спіралями.

Навивка спіральних теплообмінних апаратів проводиться з рулонної сталі шириною від 0,2 до 1,5 м, поверхня нагріву складає від 3,2 до 100 м<sup>2</sup>, ширина каналу 8 або 12 мм, тиск 1 МПа. Товщина стінок при тиску до 0,3 МПа – 2 мм, до 0,6 мм – 3 мм.

Спіральні апарати випускаються двох типів: тип 1 – з тупиковими каналами (з кришками) і тип 2 – зі сліпими каналами (без кришок). Тип 1 випускається у чотирьох виконаннях: горизонтальний апарат на лапах для рідин (рисунок 1.3); горизонтальний теплообмінник на цапфах для рідин; вертикальний теплообмінник на цапфах для конденсації парів); вертикальний теплообмінник на цапфах для паро-газової суміші.

Тип 2 випускається у трьох виконаннях: горизонтальний на лапах; горизонтальний на цапфах; вертикальний на лапах.

Рисунок 1.3 –  
Вертикальний спіральний  
апарат на лапах зі сліпими  
каналами



Спіральні теплообмінні апарати виготовляють із вуглецевої сталі Ст3сп4, а також корозійностійких сталей марок 12Х18Н10Т, Х17Н12М2Т. Для виготовлення кришок застосовується двошарові сталі Ст3+10Х18Н10Т та 20К+Х17Н13М2Т та ін.

Для виготовлення прокладок застосовують гуму, пароніт, фторопласт, азбестовий картон та ін.

Спіральні теплообмінні апарати для рідини складаються із корпусу з тупиковими каналами, двох плоских кришок по торцям із прокладками, чотирьох штуцерів для введення та виведення теплообмінювальних середовищ, два з яких установлені у центральній частині кришки, а два – у верхній частині корпусу на колекторах.

Корпус апарата установлюється на лапах для установки безпосередньо на фундаменті в горизонтальному виконанні або на цапфах для установки у будь-якому виконанні.

Принцип роботи спіральних теплообмінних апаратів для рідин заключається у наступному: перший теплоносіє подається під тиском через штуцер на одній із кришок в камеру центровика, а потім по спіральному каналу – в колекторі через штуцер виходить із теплообмінника. Другий

теплоносій через штуцер колектора поступає у суміжний спіральний канал протитоком відносно до першого теплоносія і виходить через штуцер другої кришки.

Спіральні конденсатори виготовляються лише у вертикальному варіанті і складаються з корпусу з тупиковими каналами, двох кришок (верхньої – з конусом для підведення пари до каналів та нижньої із прокладками для ущільнення каналів), чотирьох штуцерів для введення та виведення теплоносіїв, два з яких установлені на кришках, а два інших – у бокових колекторах, причому один із них, призначений для виведення конденсату, установлений у нижній частині колектора.

Спіральні теплообмінні апарати для парогазових сумішей відрізняються від конденсаторів парів лише тим, що вони мають ще один штуцер для виведення газів після відокремлення від них конденсату, на якому є штуцер для виведення конденсату.

Вертикальне розташування каналів конденсаторів виключає утворення пробок конденсату та гідравлічні удари. Пара або парогазова суміш поступає в апарат через штуцер великого діаметра одночасно у більшість каналів, окрім кількох крайніх зовнішніх. Конденсат, який утворюється, стікає по вертикальним стінкам каналів, збирається у їхніх нижніх частинах і стікає по спіралі в штуцер для конденсату, розташований у нижньому боку каналу. Залишки несконденсованої пари або парогазової суміші проходять декілька зовнішніх витків каналу по спіралі і після охолодження відводяться через штуцер на колекторі тупикових каналів.

Гідравлічний опір каналів по паровому боку невелике внаслідок достатньо великого поперечного перерізу каналів, включених на вході пари паралельно. Охолоджувальне середовище подається через зовнішній колектор і рухається по спіральному каналу до центру, звідки виводиться через штуцер на нижній кришці.

Спіральні теплообмінні апарати можуть виконуватися для руху

теплоносіїв по спіральному потоку, по поперечному, який перетинає спіраль потоку і по комбінованому потоку, який сполучає поперечний та спіральний потоки. Конструктивне оформлення таких теплообмінників може бути різноманітним.

Закордонні фірми навивку спіральних теплообмінних апаратів проводять з рулонного матеріалу шириною від 0,1 до 1,8 м і товщиною від 2 до 8 мм. Діаметр сердечника (керн) складає від 200 до 300 мм, ширина каналу – від 5 до 25 мм, поверхня нагріву – від 0,5 до 160 м<sup>2</sup>. Для отримання великих поверхонь теплообмінники можуть бути з'єднані в блоки.

За кордоном спіральні теплообмінні апарати виготовляють із вуглецевих та корозійностійких марок сталей, хастелою, нікелю і нікелевих сплавів, алюмінієвих сплавів та титану.

При відносно високих тисках в каналах деякі закордонні фірми з метою зниження металоємкості та придання достатньої міцності навивку теплообмінних апаратів здійснюють з матеріалу різної товщини. Внутрішні витки меншого радіусу навиваються з більш тонкого матеріалу, а зовнішні більшого радіусу – з металу більшої товщини. Листи різної товщини зварюються під кутом, щоб шов не заважав навивці спіралі.

В деяких випадках спіральні теплообмінні апарати конструюють з врахуванням на застосування анодного антикорозійного захисту або захисних покриттів.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з нерухомими трубними решітками є найпростішими за конструкцією, достатньо зручними при експлуатації та ремонті (можлива механічна очистка внутрішньої поверхні та заміна пошкоджених труб) і найбільш поширеними в промисловості. Проте їх застосування обмежується порівняно невеликою різницею температур кожуха та теплообмінних труб (до 30-60 °C), а також неможливістю механічної очистки зовнішньої поверхні труб.

Кожухотрубчасті теплообмінні апарати з температурним (лінзовим) компенсатором на кожусі застосовуються при більш високих різницях температур, але при цьому знижується умовний тиск у міжтрубному просторі (за рахунок використання компенсатора) та декілька ускладнюється конструкція апарата.

## 2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА КОНСТРУКЦІЇ КОЛОНИ І ПІДГРІВАЧА

### 2.1 Технологічна схема

Початкову суміш з проміжної ємкості Є1 центробежним насосом Н2 подають в підігрівач П, де вона підігрівається до температури кипіння. Нагріта суміш поступає на розділення в ректифікаційну колону КР на розподільну тарілку, де склад рідини дорівнює складу початкової суміші  $x_F$ . Стікаючи вниз по колоні, рідина взаємодіє з паром, що піднімається вгору, яка утворюється при кипінні кубової рідини в кип'ятильнику К. Начальний склад пари приблизно дорівнює складу кубового залишку  $x_W$ , тобто збіднений легко летким компонентом.

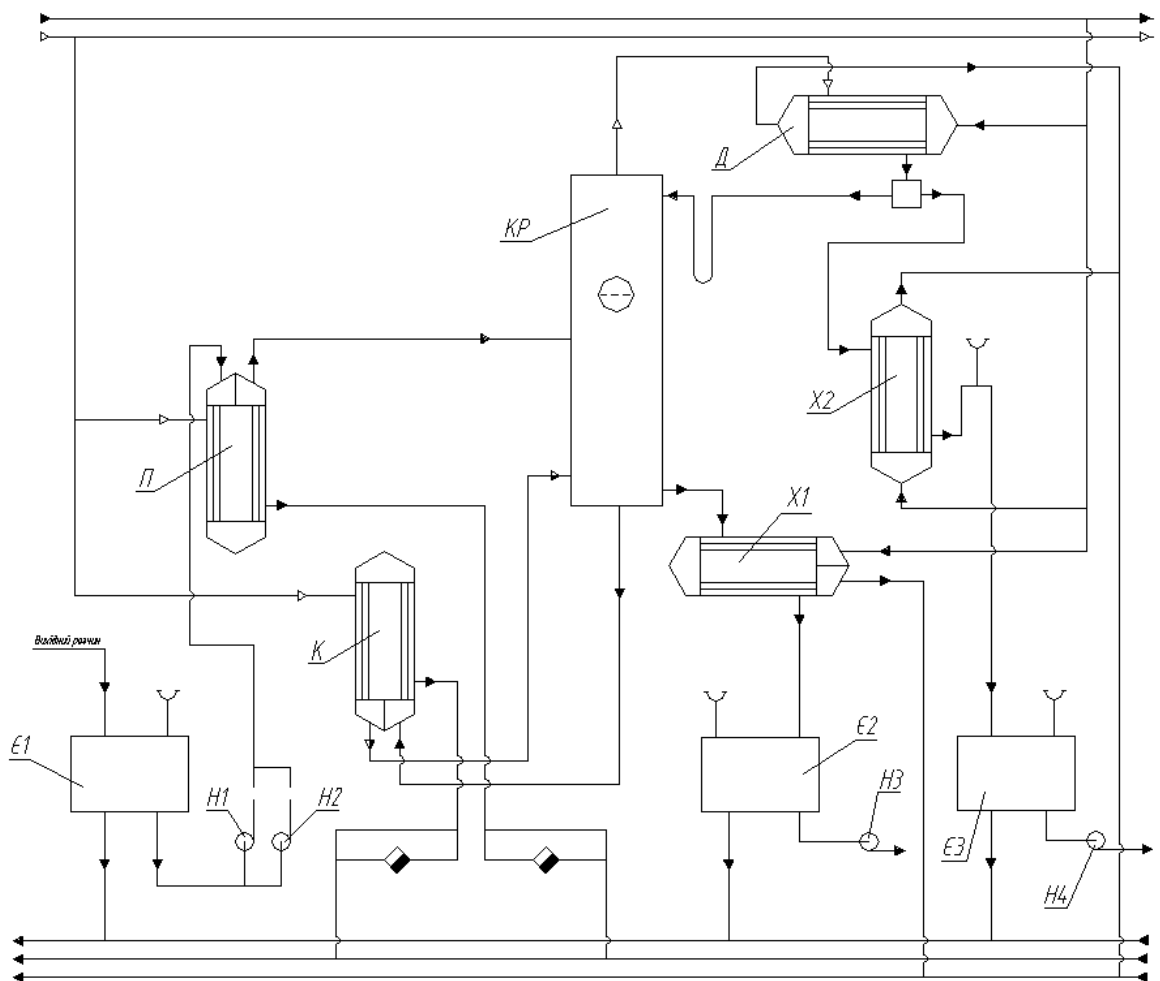


Рисунок 2.1 - Схема безперервно діючої ректифікаційної установки

Для повнішого збагачення верхню частину колони зрошують відповідно до заданого флегмового числа рідиною (флегмою) складу  $x_p$ , що отримується в дефлегматоре Д шляхом конденсації пари, що виходить з колони. Частина конденсату виводиться з дефлегматора у вигляді готового продукту розділення – дистилату, який охолоджується в холодильнику Х2 і прямує в проміжну ємність Є3.

З кубової частини колони безперервно виводиться кубова рідина – продукт збагачений труднолетучим компонентом, який охолоджується в холодильнику Х1 і прямує в ємність Є2.

## 2.2 Опис конструкції колони з ситчастими тарілками

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

На рисунку 2.2 показаний колонний апарат з ситчастими тарілками суцільнозварний циліндричний з еліптичними відбортованими днищами 2, корпусом 1, встановлений на циліндричній опорі 4, обладнаний люками 5 діаметром 500 мм (ОСТ 26-2002-83), через які відбувається збирання і розбирання внутрішніх пристроїв (тарілок), а також огляд внутрішньої поверхні апарату, його чищення і ремонт. Люки оснащені підіймальними поворотними пристроями 6. Апарат обладнаний технологічними штуцерами, призначеними для входу і виходу робочого середовища і штуцерами для приєднання контрольно– вимірювальних пристроїв. Також на колонному апараті розташовані цапфи для стропування 7, пристосування для вивірювання 8. Пристосування для вивірювання вертикальності встановлення колони при монтажі представляють собою спеціальні пристрої у вигляді нарізних шпильок, які встановлюються по двох взаємно перпендикулярним створюючим корпуси апарату, дві вгорі і дві внизу.

Всередині колони розташовані ситчасті тарілки 3.

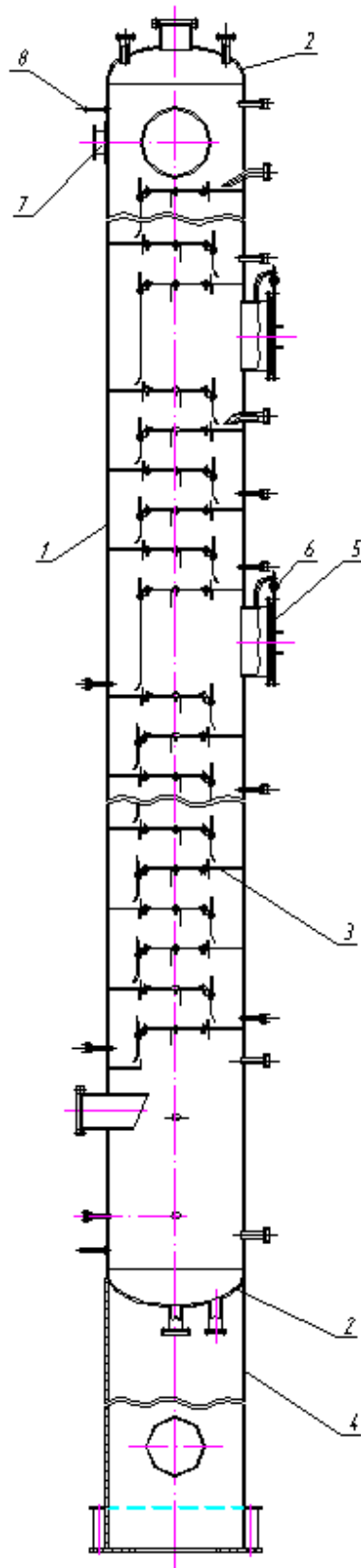


Рисунок 2.2 - Суцільнозварний колонний апарат з ситчастими тарілками

При русі через шар рідини значна частина дрібних струменів розпадається і газ розподіляється в рідині у вигляді бульбашок.

Інтенсивність утворення піни безпосередньо в колоні або нижче за верх колони для того, щоб зменшити спільну висоту установки. У останньому випадку флегму з дефлегматора подають в колону насосом. Таке розміщення дефлегматора часто застосовують при установці ректифікаційних колон поза будівлями, що економічніше в умовах помірного клімату.

Принцип дії тарільчастих колон полягає в барботажі пари через рідину на кожній тарілці, на якій підтримують певний рівень рідини.

Недолік тарільчастих колон - відносно високий гідравлічний опір. При ректифікації підвищення гідравлічного опору приводить лише до деякого збільшення тиску і відповідно до підвищення температури кипіння рідини в кип'ятильнику колони.

### 2.3 Опис конструкції підігрівача

Підігрівач – двоходовий кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі вертикальний (рисунок 2.3) складається з трубного пучка 1, розподільної камери 2 і кришки 3, які з'єднуються між собою за допомогою фланців. Апарат обладнаний штуцерами для підведення і відведення робочого середовища, нарізними пробками для спорожнення трубного і міжтрубного просторів, а також штуцерами-повітряниками, які встановлюються в нижніх і верхніх точках відповідних порожнин. Апарат з температурним компенсатором на кожусі обладнаний лінзовим компенсатором, призначеним для зниження температурних напружин, яка виникає в трубах і кожусі в робочих умовах. Вертикальний апарат встановлюється на опорних лапах.

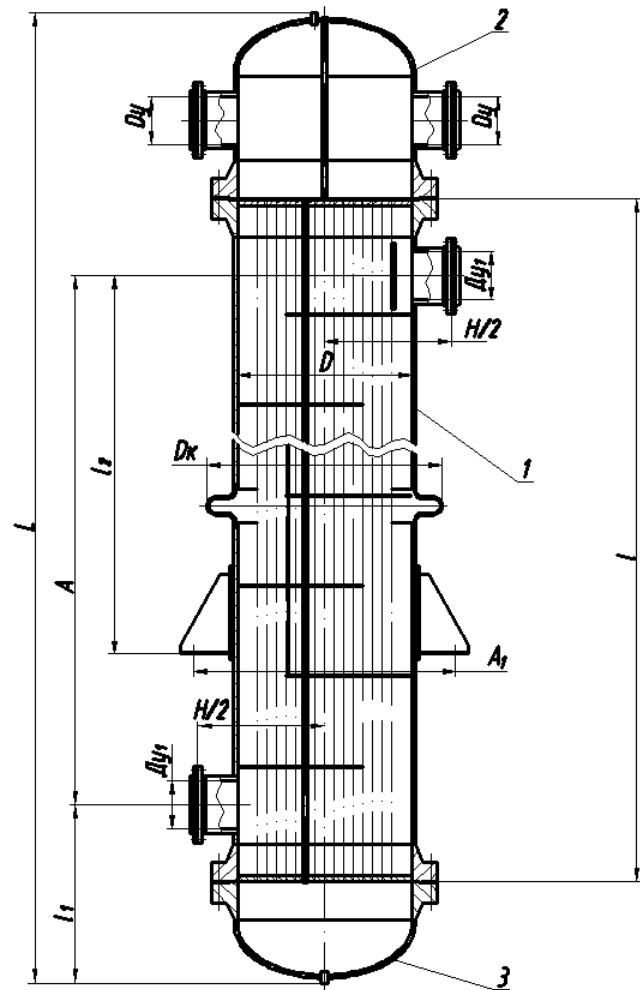


Рисунок 2.3 - Кожухотрубчастий теплообмінний апарат з температурним компенсатором на кожусі вертикальний двоходовий по трубах

До корпусу по торцях приварені трубні решітки, в яких закріплені теплообмінні труби. В основному труби в решітках кріпляться розвальцюванням або якимсь іншим способом залежно від матеріалу труб і тиску в апараті. Трубні решітки закриваються кришками на прокладках і болтах або шпильках. Через патрубки на корпусі один теплоносій проходить через міжтрубний простір, другий теплоносій рухається по трубах через патрубки на камері. У багатоходовому теплообміннику в корпусі встановлені перегородки для підвищення швидкості теплоносіїв.

### 3 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

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

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

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

#### Вплив властивостей робочого середовища на вибір матеріалів

У більшості випадків основним фактором для вибору матеріалів для виготовлення хімічних апаратів є властивості робочого середовища.

Корозійна стійкість матеріалу при заданій концентрації середовища, температурі та тиску визначає їх довговічність.

При виборі матеріалу з чорних і кольорових металів та сплавів за умови їхньої рівномірної корозії необхідно керуватися ГОСТ 13819, у якому корозійна стійкість у різних хімічних середовищах оцінюється за 10 бальною шкалою (табл. 3.1).

Для виготовлення хімічної апаратури повинні використовуватися конструкційні матеріали, швидкість корозії яких не перевищує 0,1 мм/рік.

Під швидкістю корозії розуміють глибину проникнення корозії в метал, яку розраховують по втраті маси зразка після видалення продуктів корозії. Глибину проникнення корозії  $\Pi$ , мм/рік розраховують за формулою

$$\Pi = K \cdot 10^{-3} / \rho, \quad (3.1)$$

$K$  - втрата маси, кг/(м<sup>2</sup>·рік);

$\rho$  - щільність металу, кг/м<sup>3</sup>.

Ерозійний вплив середовища (руйнування поверхневого шару металу під дією твердих частинок, які вдаряються в нього, крапель або потоку рідини чи газу) враховують при значних швидкостях руху середовища: рідин – понад 20 м/с, газів – понад 100 м/с або при наявності в середовищі абразивних частинок).

Таблиця 3.1 Корозійна стійкість металів

Група стійкості	Бал	Швидкість корозії металу, мм/рік
Зовсім стійкі	1	до 0,001 включно
Дуже стійкі	2	понад 0,001 до 0,005 включно
	3	» 0,005 » 0,01 »
Стійкі	4	» 0,01 » 0,05 »
	5	» 0,05 » 0,1 »
Занижено стійкі	6	» 0,1 » 0,5 »
	7	» 0,5 » 1,0 »
Малостійкі	8	» 1,0 » 5,0 »
	9	» 5,0 » 10 »
Нестійкі	10	понад 10

При конструюванні хімічної апаратури необхідно враховувати також і інші види корозійного руйнування матеріалів: корозійне розтріскування, міжкристалічну, водневу та карбонільну корозію, азотування і графітизацію сталі.

Корозійне розтріскування металу у ряді випадків спостерігається в апаратах, виконаних з легованих сталей і працюючих при підвищених тисках та температурах, при спільній дії корозійного середовища та розтягувальних напружень. Руйнування металу при корозійному розтріскуванні відбувається з утворенням тріщин усередині кристалів і по їх границях. При наявності в металі стискових напружень корозійне розтріскування не відбувається.

Прискорене розтріскування апаратів із хромонікелевих сталей і вмістом хрому близько 18 % і нікелю близько 8 %, які знаходяться під постійно діючим навантаженням, має місце в розчинах NaCl, MgCl<sub>2</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, LiCl, H<sub>2</sub>S і морській воді. Хромомолібденові сталі, які піддаються корозійному розтріскуванню при підвищеному вмісту кисню і лугів у живильній воді котлів. Живильна вода звичайного складу (вміст кисню не більш 0,15 мг/л; хлоридів – не більш 0,03 мг/л; концентрація лугів – не більше 5 %) не викликає корозійного розтріскування. Основні міри захисту металу від корозійного розтріскування: зведення до мінімуму рівня напружень, зниження їх місцевої концентрації, підбір відповідних матеріалів, систематичний аналіз і контроль вмісту кисню, хлоридів і лугів у складі робочого середовища.

Міжкристалічна корозія властива аустенітним хромонікелевим сталям. При роботі їх при температурах понад 400 °C по границям зерен утворюються карбіди хрому. В результаті границі зерен збіднюються хромом, що призводить до зниження корозійної стійкості та ударної в'язкості. Схильність сталі до міжкристалічної корозії можна запобігти обмеженням вмісту в неї вуглецю до величини менше 0,04 % і додаванням

легуючих елементів (титану та ніобію), що запобігають утворенню карбідів хрому, титану та ніобію.

Явище водневої корозії спостерігається в апаратах високого тиску при контакті із середовищем, що містить газоподібний водень. Воднева корозія сталі відбувається в результаті гідрогенізації її карбідної фази з воднем, поглиненим металом при контакті з воднемістким технологічним середовищем. В результаті водневої корозії змінюється структура сталі, відбувається міжкристалічне розтріскування; міцність та пластичні характеристики сталі незворотно погіршуються, приводячи до передчасних поломок і руйнувань. Інтенсивність хімічної взаємодії водню з карбідною складовою сталі залежить від температури та тиску водню, а також від ступеня легування стали карбідоутворюючими елементами. Основний спосіб захисту сталі від водневої корозії – введення сильних карбідоутворюючих елементів, які підвищують стійкість карбідної складової (хрому, молібдену, титану, ванадію). Проте необхідно враховувати, що застосування сталей, легованих дорогими компонентами, може істотно підвищити вартість обладнання і не завжди бути прийнятно з технічних причин, наприклад, через відсутність поковок необхідних розмірів з легованої сталі. Для захисту сталей від водневої корозії можна футерувати або плакувати сталь матеріалом, який має низьку водневу проникність.

Карбонільна корозія спостерігається в середовищах, що містять значну кількість оксиду вуглецю. Оксид вуглецю, взаємодіючи з металевою поверхнею деталей, утворює карбонільне з'єднання з залізом – пентакарбоніл заліза. Продукти корозії поступово переходять з поверхні металу в газову фазу. Карбонільна корозія є різновидністю поверхневої корозії матеріалу в газовому технологічному середовищі і супроводжується зменшенням товщини стінки. Основними факторами, що визначають стійкість сталі в середовищі окису вуглецю, є парціальний тиск окису

вуглецю, температура та хімічний склад сталі. Найстійкіші до карбонільної корозії є сталі, що містять не менше 18 % хрому. Високу стійкість мають кольорові метали і сплави. Алюміній практично не піддається карбонільної корозії.

Азотування сталі спостерігається в установках синтезу аміаку, де атомарний азот дифундує в поверхневий шар металу і взаємодіє із залізом та легуючими елементами, утворюючи нітриди, які додають крихкість азотизованому шару. Азотування сталі супроводжується значним збільшенням об'єму шару металу, насиченого азотом, що призводить до появи значних напружень розтягненні в матеріалі під азотизованим шаром. Дослідження показали, що помітне азотування вуглецевих та низьколегованих сталей спостерігається при температурах понад 300 °С, середньолегованих – при температурах понад 380 °С, високолегованих аустенітних – при температурах понад 400 °С.

Графітізація – явище, пов'язане з руйнуванням карбіду заліза та утворенням ланцюжків вільного графіту в основному в зоні зварних швів. Це явище характерне для вуглецевомолібденових сталей в області температур 475-600 °С і призводить до зниження ударної в'язкості. Для запобігання графітізації в сталь вводять добавки хрому (не менше 0,6-0,8 %).

У підігрівачі, що проектується, по міжтрубному простору рухається пара, тому згідно з [13] для виготовлення обичайки кожуха, фланців та перегородок застосовуємо сталь СтЗсп за ГОСТ 380. Матеріал труб для виготовлення патрубків корпуса сталь 10 за ГОСТ 8732. По трубному простору підігрівача рухається суміш ацетон-етиловий спирт. Тому згідно з [13] для виготовлення трубних решіток та камер застосовуємо сталь 12Х18Н10Т за ГОСТ 5632, для теплообмінних труб - сталь 12Х18Н10Т за ГОСТ 9941.

Матеріал кріпильних виробів (болтів) по рекомендаціях [7] для фланців штуцерів з вуглецевої сталі - сталь 40 ГОСТ 1050, для гайок - сталь 20 ГОСТ 1050. Матеріал болтів та гайок для фланців штуцерів з нержавіючої сталі - сталь 20Х13 ГОСТ 5632. Матеріал опори і цапф для стропування – сталь ст3сп по ГОСТ 380. Матеріал прокладок - паронит ПОН за ГОСТ 481.

#### 4. ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ РОЗМІРІВ КОЛОНИ ТА ПІДІГРІВАЧА

Початкові дані

Потужність по вихідній суміші	71300 т/рік
Ефективний фонд робочого часу	$T_{\text{еф}} = 8640$ год.
Концентрація етилового спирту:	
у вхідній суміші	$\alpha_F = 43 \%$ (масс.)
в дистиляті	$\alpha_P = 98 \%$ (масс.)
в кубовому залишку	$\alpha_W = 1,5 \%$ (масс.)
Температура:	
остудної води	10 °С,
дистиляту після холодильника	26 °С,
кубового залишку після холодильника	26 °С,
вхідної суміші	30 °С.
Тиск насиченої водяної пари	6,5 кгс/см <sup>2</sup>
Коефіцієнт надлишку флегми	2,0
Колонна працює під атмосферним тиском	

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

Продуктивність по початковій суміші  $P/T_{\text{еф}} = 71300/8640 = 8,25$  т/год.

Продуктивність колони по дистиляту визначаємо за формулою:

$$G_P = G_F \cdot \frac{\alpha_F - \alpha_W}{\alpha_P - \alpha_W} = 8250 \cdot \frac{0,43 - 0,015}{0,98 - 0,015} = 3547,93 \text{ кг/год} = 0,986 \text{ кг/с}$$

Продуктивність колони по кубовому залишку визначаємо з рівняння:

$$G_W = G_F - G_P \quad (4.1)$$

$$G_w = 8250 - 3547,93 = 4702,07 \text{ кг/год} = 1,306 \text{ кг/с}$$

Перевірка:

$$G_F \cdot a_F = G_P \cdot a_P + G_W \cdot a_W \quad (4.2)$$

$$8250 \cdot 0,43 = 3547,93 \cdot 0,98 + 4702,07 \cdot 0,015$$

$$3547,5 = 3476,97 + 70,53$$

$$3547,5 = 3547,5$$

#### 4.2 Визначення мінімального і дійсного флегмового числа

Перераховуємо масові концентрації в мольні за формулою:

$$X = \frac{\frac{\alpha}{M_A}}{\frac{\alpha}{M_A} + \frac{1-\alpha}{M_B}} \quad (4.3)$$

$X$  – концентрація низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мол. Частки;

$\alpha$  – вміст низькокиплячого компонента А в бінарній суміші, мас. Частки;

$M_A, M_B$  – молярна маса компонента А і В (відповідно).

Молярні маси: ацетон – 58 кг/кмоль.

Етиловий спирт – 46 кг/кмоль.

Тоді концентрація вхідної суміші:

$$X_F = \frac{\frac{\alpha_F}{M_A}}{\frac{\alpha_F}{M_A} + \frac{1-\alpha_F}{M_B}} = \frac{\frac{0,43}{58}}{\frac{0,43}{58} + \frac{1-0,43}{46}} = 0,374;$$

дистилляту:

$$X_P = \frac{\frac{\alpha_P}{M_A}}{\frac{\alpha_P}{M_A} + \frac{1-\alpha_P}{M_B}} = \frac{\frac{0,98}{58}}{\frac{0,98}{58} + \frac{1-0,98}{46}} = 0,975;$$

кубового залишку:

$$X_w = \frac{\frac{\alpha_w}{M_A}}{\frac{\alpha_w}{M_A} + \frac{1-\alpha_w}{M_B}} = \frac{\frac{0,015}{58}}{\frac{0,015}{58} + \frac{1-0,015}{46}} = 0,0119.$$

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

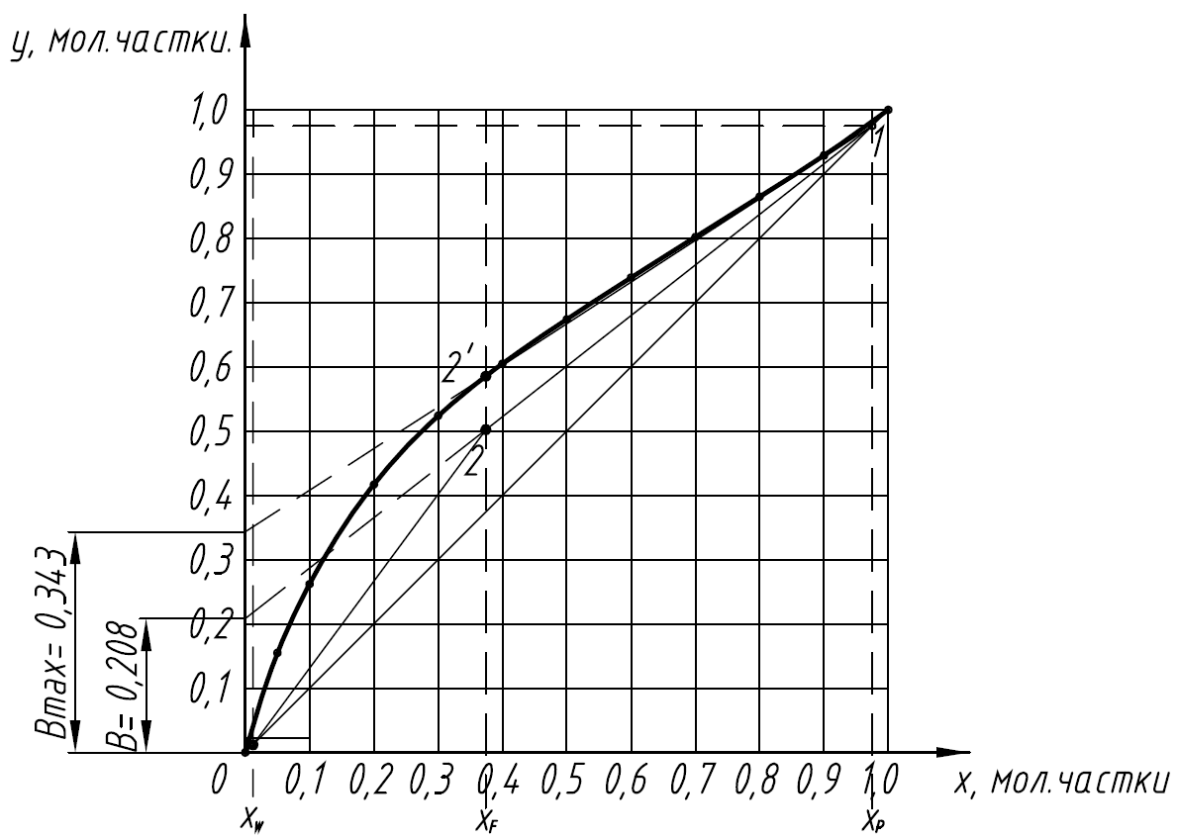


Рисунок 4.1 – до визначення мінімального флегмового числа

Таблиця 4.1–Рівноважні дані для суміші ацетон–етиловий спирт

Вміст компонента А, мол. %		Температура кипіння, $t, ^\circ\text{C}$
в рідині (x)	в парі (y)	
0	0,0	78,3
5	15,5	75,4
10	26,2	73
20	41,7	69
30	52,4	65,9
40	60,5	63,6
50	67,4	61,8
60	73,9	60,4
70	80,2	59,1
80	86,5	58
90	92,9	57
100	100,0	56,1

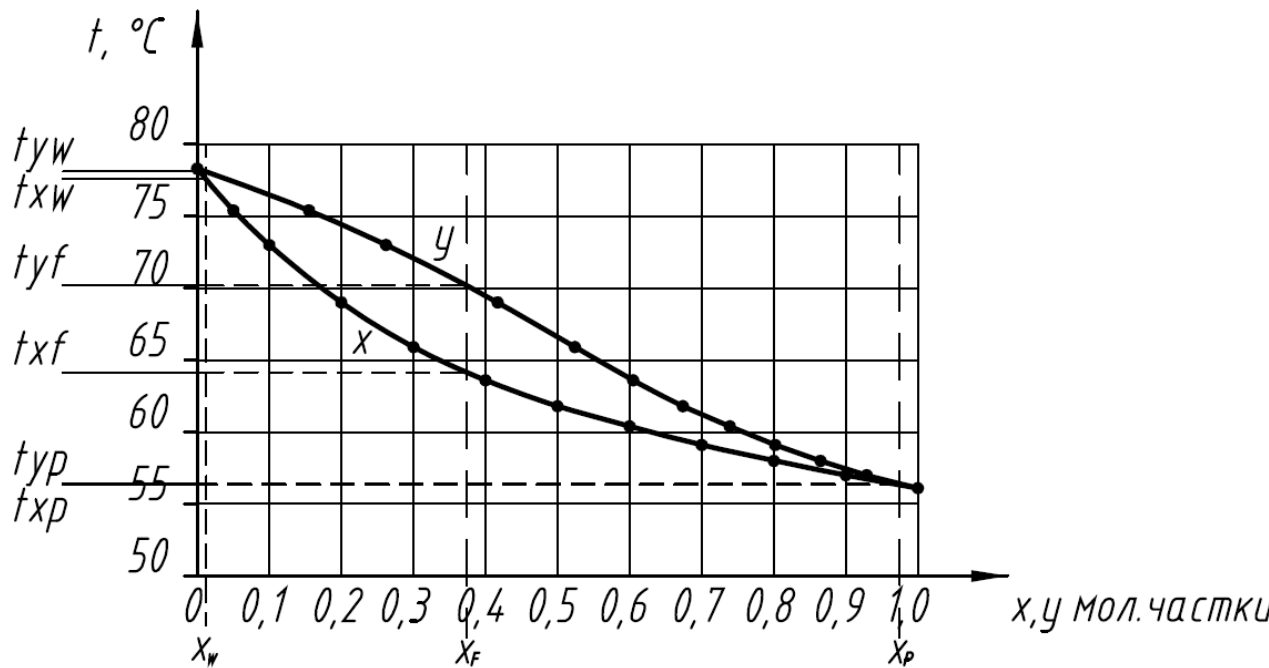


Рисунок 4.2 – Ізобара температур кипіння і конденсації

На діаграмі  $y$ - $x$  з точки 1 ( $x_p=y_p$ ) через точку 2' ( $x_F, y_F^*$ ) проводимо

пряму лінію до перетину з віссю  $y$ . Відрізок, відсікаємий на осі  $y$ , позначимо через  $B_{\max}=0,343$ . За величиною цього відрізка знаходимо мінімальне флегмове число:

$$R_{\min} = \frac{x_p}{B_{\max}} - 1 = \frac{0,975}{0,343} - 1 = 1,842$$

Дійсне флегмове число, використовуючи рівняння:

$$R = K_R \cdot R_{\min} \quad (4.4)$$

$$R = 2 \cdot 1,842 = 3,684$$

На діаграмі  $y$ - $x$  наносимо лінії робочих концентрацій (робочі лінії) для оптимального флегмowego числа  $R = 3,684$  (рис. 4.3): для цього на осі  $y$  відкладаємо відрізок  $B = \frac{x_p}{R+1} = \frac{0,975}{3,684+1} = 0,208$ , кінець якого з'єднуємо прямою з точкою 1 ( $x_p = y_p$ ); точку перетину цієї прямої з вертикальною лінією, проведеної з абсциси  $x_F$ , позначимо точкою 2 ( $x_F, y_F$ ) і, нарешті, точку 2 з'єднуємо з точкою 3 ( $x_W = y_W$ ). Лінії 1-2 і 2-3 є робочими лініями для верхньої та нижньої частин колони, відповідно.

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

Рідка фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$X_{cp}^H = \frac{X_W + X_F}{2} = \frac{0,0119 + 0,374}{2} = 0,193$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$X_{cp}^B = \frac{X_F + X_P}{2} = \frac{0,374 + 0,975}{2} = 0,6745$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$X_{cp} = \frac{X_{cp}^H + X_{cp}^B}{2} = \frac{0,193 + 0,6745}{2} = 0,434$$

Середня масова концентрація по колоні:

$$\alpha_{cp} = \frac{x_{cp} \cdot M_A}{x_{cp} \cdot M_A + (1 - x_{cp}) \cdot M_B}$$

(4.5)

$$\alpha_{cp} = \frac{0,434 \cdot 58}{0,434 \cdot 58 + (1 - 0,434) \cdot 46} = 0,492$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{xcp}^H = \frac{t_{xw} + t_{xf}}{2} = \frac{77,6 + 64,1}{2} = 70,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{xcp}^B = \frac{t_{xf} + t_{xp}}{2} = \frac{64,1 + 56,3}{2} = 60,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура по колоні:

$$t_{xcp} = \frac{t_{xcp}^H + t_{xcp}^B}{2} = \frac{70,85 + 60,25}{2} = 65,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Значення  $t_{xw}$ ,  $t_{xf}$ ,  $t_{xp}$  взяті з діаграми  $t$ - $x$ ,  $y$  (рис. 4.2).

Середня мольна маса:

$$M_{xcp} = M_A \cdot X_{cp} + M_B \cdot (1 - X_{cp}) \quad (4.6)$$

$$M_{xcp} = 58 \cdot 0,434 + 46 \cdot (1 - 0,434) = 51,2 \text{ кг/кмоль}$$

Середня щільність визначається за формулою:

$$\rho_{xcp} = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_{cp} + \rho_A \cdot (1 - \alpha_{cp})} \quad (4.7)$$

$\rho_A$  і  $\rho_B$  щільність компонентів А (ацетон) і В (етиловий спирт) при температурі  $t_{xcp}$ .

$$\rho_A = 738,51 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_{xcp} = 65,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_B = 748,73 \text{ кг/м}^3.$$

$$\rho_{xcp} = \frac{738,51 \cdot 748,73}{748,73 \cdot 0,492 + 738,51 \cdot (1 - 0,492)} = 743,67 \text{ кг/м}^3$$

Середню в'язкість розраховуємо за формулою:

$$\lg \mu_{xcp} = X_{cp} \cdot \lg \mu_A + (1 - X_{cp}) \cdot \lg \mu_B \quad (4.8)$$

$\mu_A$  і  $\mu_B$  динамічні коефіцієнти в'язкості компонентів А (ацетон) і В (етиловий спирт), Па·с.

$$\mu_A = 0,222 \text{ мПа}\cdot\text{с при } t_{cp} = 65,55 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\mu_B = 0,548 \text{ мПа}\cdot\text{с.}$$

$$\lg \mu_{xcp} = 0,434 \cdot \lg 0,222 + (1 - 0,434) \cdot \lg 0,548 = -0,431$$

$$\mu_{xcp} = 0,371 \text{ мПа} \cdot \text{с} = 0,371 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Середній поверхневий натяг визначаємо за рівнянням:

$$\sigma_{xcp} = \sigma_A \cdot X_{cp} + \sigma_B (1 - X_{cp}) \quad (4.9)$$

$\sigma_A$  і  $\sigma_B$  – поверхневі натяги компонентів А (ацетон) і В (етиловий спирт), Н/м.

$$\sigma_A = 17,934 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м при } t_{xcp} = 65,55 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\sigma_B = 18,528 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

$$\sigma_{xcp} = 17,934 \cdot 10^{-3} \cdot 0,434 + 18,528 \cdot 10^{-3} (1 - 0,434) = 18,27 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Коефіцієнт дифузії при середній температурі визначаємо за формулою:

$$D_x(t) = D_x(20) [1 + b \cdot (t - 20)]$$

$$(4.10)$$

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

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

(ацетон) при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t = t_{xcp}$ .

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

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{A \cdot B \cdot \sqrt{\mu} (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (4.11)$$

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

$A, B$  – коефіцієнти, що залежать від властивостей компонентів,  $A=1$ ;  $B=2$ .

$$b = \frac{0,2\sqrt{\mu}}{\sqrt[3]{\rho}} = \frac{0,2\sqrt{0,322}}{\sqrt[3]{791}} = 0,012$$

Мольні об'єми компонентів:

$$V_A = 14,8 \cdot 3 + 3,7 \cdot 6 + 7,4 = 74 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$V_B = 14,8 \cdot 2 + 3,7 \cdot 5 + 7,4 + 3,7 = 59,2 \text{ см}^3/\text{моль}$$

$$D_{x(20)} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 2 \cdot \sqrt{0,322(74^{1/3} + 59,2^{1/3})^2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{58} + \frac{1}{46}} = 2,654 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$$

$$D_{x(t)} = 2,654 \cdot 10^{-9} [1 + 0,012 \cdot (65,55 - 20)] = 4,105 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$$

Парова фаза

Середня мольна концентрація в нижній частині колони:

$$y_{cp}^H = \frac{y_W + y_F}{2} = \frac{0,0119 + 0,502}{2} = 0,257 \text{ .}$$

Середня мольна концентрація у верхній частині колони:

$$y_{cp}^6 = \frac{y_F + y_P}{2} = \frac{0,502 + 0,975}{2} = 0,738 \text{ .}$$

Середня мольна концентрація по колоні:

$$y_{cp} = \frac{y_{cp}^H + y_{cp}^6}{2} = \frac{0,257 + 0,738}{2} = 0,497 \text{ .}$$

Середня температура в нижній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^H = 60,42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня температура у верхній частині колони:

$$t_{y_{cp}}^6 = 73,12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температури  $t_{y_{cp}}^H$ ,  $t_{y_{cp}}^6$ , знайдені з діаграми  $t$ - $x$ ,  $y$  (рис. 2).

Середня температура по колоні:

$$t_{y_{cp}} = \frac{t_{y_{cp}}^H + t_{y_{cp}}^6}{2} = \frac{60,42 + 73,12}{2} = 66,77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середня мольна маса:

$$M_{y_{cp}} = M_A \cdot y_{cp} + M_B \cdot (1 - y_{cp}) \quad (4.12)$$

$$M_{y_{cp}} = 58 \cdot 0,497 + 46 \cdot (1 - 0,497) = 51,96 \text{ кг/кмоль}$$

Середня щільність:

$$\rho_{y_{cp}} = \frac{M_{y_{cp}}}{22,4} \cdot \frac{P}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T} \quad (4.13)$$

$$T = 273 + t_{y\text{cp}}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

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

$$\rho_{y\text{cp}} = \frac{51,96}{22,4} \cdot \frac{1}{1,033} \cdot \frac{273}{(273 + 66,77)} = 1,8 \text{ кг/м}^3$$

Середня в'язкість:

$$\frac{M_{y\text{cp}}}{\mu_{y\text{cp}}} = \frac{Y_{\text{cp}} \cdot M_A}{\mu_{yA}} + \frac{(1 - Y_{\text{cp}}) \cdot M_B}{\mu_{yB}} \quad (4.14)$$

$\mu_{yA}$  і  $\mu_{yB}$  – динамічний коефіцієнт в'язкості пари компонента А і В.

$$\mu_{yA} = 0,93 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с при } t_{y\text{cp}} = 66,77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_{yB} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с.}$$

$$\frac{51,96}{\mu_{y\text{cp}}} = \frac{0,497 \cdot 58}{0,93 \cdot 10^{-5}} + \frac{(1 - 0,497) \cdot 48}{1,05 \cdot 10^{-5}}$$

$$\mu_{y\text{cp}} = 9,624 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Коефіцієнт дифузії для парової фази визначаємо за рівнянням:

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{3/2}}{P \cdot (V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (4.15)$$

$P$  – тиск, кгс/см<sup>2</sup> (тиск в колоні атмосферний);

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

$$D_y = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 339,77^{3/2}}{1 \cdot (74^{1/3} + 59,2^{1/3})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{58} + \frac{1}{46}} = 8,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

#### 4.4 Визначення діаметру колони

Діаметр колони визначаємо по рівнянню:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} \quad (4.16)$$

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

$$V_y = \frac{G_y}{\rho_{y\text{cp}}} = \frac{G_p \cdot (R + 1)}{\rho_{y\text{cp}}}$$

(4.17)

$$V_y = \frac{3547,93 \cdot (3,684 + 1)}{3600 \cdot 1,8} = 2,56 \text{ м}^3/\text{с}$$

Швидкість пари в колоні визначаємо по рівнянню. Попередньо приймаємо відстань між тарілками  $h=400$  мм. Використовуємо раніше знайдені  $\rho_{xcp} = 743,67 \text{ кг}/\text{м}^3$  і  $\rho_{ycp} = 1,8 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Для ситчастих тарілок за графіком знаходимо  $C = 0,059$ . Тоді швидкість пари в колоні:

$$W = C \sqrt{(\rho_{xcp} - \rho_{ycp}) / \rho_{ycp}} \quad (4.18)$$

$$W = 0,059 \cdot \sqrt{\frac{743,67 - 1,8}{1,8}} = 1,19 \text{ м}/\text{с}$$

Тоді діаметр колоні:

$$D = \sqrt{\frac{2,56}{0,785 \cdot 1,19}} = 1,65 \text{ м}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колоні  $D=1,8$  м і уточнюємо швидкість пари в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} \quad (4.19)$$

$$W = \frac{2,56}{0,785 \cdot 1,8^2} = 1,007 \text{ м}/\text{с}.$$

#### 4.5 Визначення висоти колоні

Знаходимо коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі:

За рівнянням знаходимо коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі:

(4.20)

$$\beta_{xf} = \frac{38000 \cdot \rho_{xcp} \cdot D_{x(t)}}{M_{xcp} \cdot h} \cdot (\text{Pr}')^{0,62}$$

$$\text{Pr}' = \frac{\mu_{xcp}}{D_{x(t)} \cdot \rho_{xcp}} = \frac{0,371 \cdot 10^{-3}}{4,105 \cdot 10^{-9} \cdot 743,67} = 121,53$$

$$\beta_{yf} = \frac{38000 \cdot 743,67 \cdot 4,105 \cdot 10^{-9}}{51,2 \cdot 1} \cdot (121,53)^{0,62} = 0,044 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль} / \text{кмоль}}$$

Коефіцієнт масовіддачі в паровій фазі знаходимо за рівнянням:

$$\beta_{yf} = \frac{D_y}{22,4} \cdot (0,79 \cdot \text{Re}_y + 11000) \quad (4.21)$$

$$\text{Re}_y = \frac{W \cdot h \cdot \rho_{ycp}}{\mu_{ycp}} \quad (4.22)$$

$$\text{Re}_y = \frac{1,007 \cdot 1 \cdot 1,8}{9,624 \cdot 10^{-6}} = 188342$$

$$\beta_{yf} = \frac{8,11 \cdot 10^{-6}}{22,4} \cdot (0,79 \cdot 188324 + 11000) = 0,058 \frac{\text{кмоль}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{кмоль} / \text{кмоль}}$$

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

$$\frac{1}{K_{yf}} = \frac{1}{\beta_{yf}} + \frac{m}{\beta_{xf}}, \quad (4.23)$$

$m = \frac{y^* - y}{x - x^*}$  – тангенс кута нахилу лінії рівноваги;  
 $y^*, x^*$  – рівноважні концентрації.

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

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

Таблиця 4.2 – Визначення коефіцієнта масо передачі

x	0,0119	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,975
$y^*-y$	0,0293	0,131	0,1504	0,122	0,0823	0,0727	0,059	0,0433	0,0277	0,013	0,0068
$x-x^*$	0,0085	0,0468	0,0816	0,1035	0,1116	0,0977	0,1051	0,0859	0,0557	0,024	0,0094
m	3,45	2,8	1,84	1,18	0,74	0,74	0,56	0,5	0,49	0,54	0,72
$K_{yf} \cdot 10^3$	10,45	12,36	16,93	22,69	29,36	29,36	33,37	34,96	35,23	33,88	29,76

Для побудови кінетичної кривої скористаємося формулою:

$$y^* - y_k = (y^* - y_n) \cdot e^{-\frac{K_{yf} \cdot f_m}{G_y}} \quad (4.24)$$

Значення різниці  $(y^*-y_n)$  це значення  $AC=(y^*-y)$  для кожного вибраного

значення  $x$  в межах від  $x_w$  до  $x_p$ .

Робоча площа тарілки складе:

$$F_p = 2,294 \text{ м}^2$$

Мольна витрата пари по колоні:

$$G_y = \frac{G_p \cdot (R+1)}{M_{y \text{ cp}}} \quad (4.25)$$

$$G_y = \frac{3547,93 \cdot (3,684 + 1)}{3600 \cdot 51,96} = 0,089 \text{ кмоль/с}$$

Таблиця 4.3 – До побудови кінетичної кривої

x	0,0119	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,975
$\frac{K_{yf} \cdot F_p}{G_y}$	0,269	0,318	0,436	0,585	0,757	0,757	0,86	0,901	0,908	0,873	0,767
$\overline{AC}$ , мм	3	13	15	12	8	7	6	4	3	1	0,68
$\overline{BC} = \frac{\overline{AC}}{e^{\frac{K_{yf} \cdot F_p}{G_y}}}$ , мм	2,29	9,46	9,7	6,69	5,63	5,63	2,54	1,62	1,21	0,42	0,32

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

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

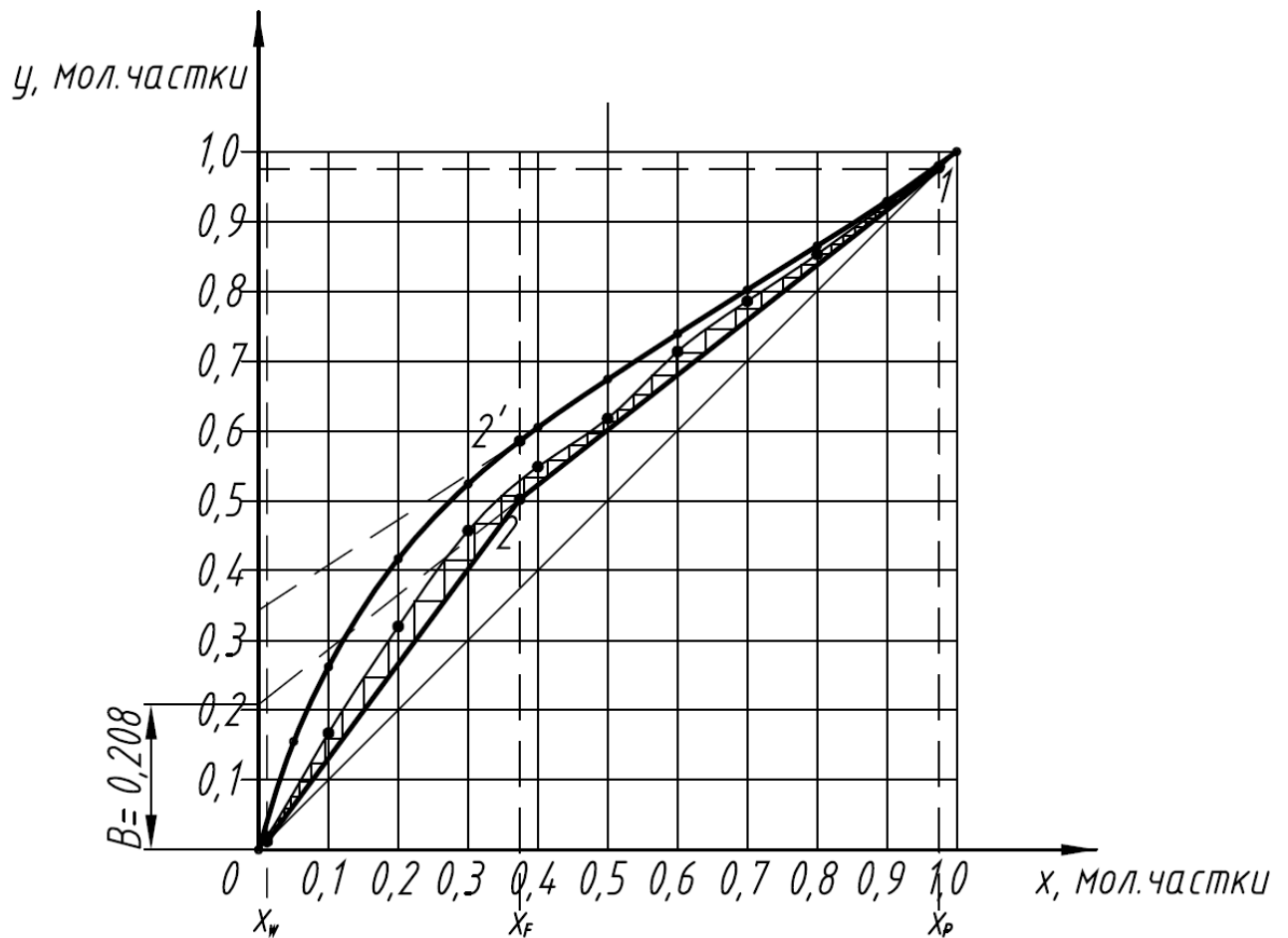


Рисунок 4.3 – Побудова кінетичної кривої і визначення числа дійсних тарілок

В результаті побудови (рис. 3) отримуємо число дійсних тарілок  $n=47$ , тарілка живлення 16-я знизу.

Висоту колони визначаємо за рівнянням:

$$H = (n - 1) \cdot h + H_{\text{сеп}} + H_{\text{куб}} \quad (4.26)$$

$$H = (47 - 1) \cdot 0,4 + 0,8 + 2,0 = 21,2 \text{ м}$$

#### 4.6 Визначення гідравлічного опору колони з ситчастими тарілками

Гідравлічний опір ректифікаційної колони визначаємо за рівнянням:

$$\Delta P_K = n \cdot \Delta P_T$$

Для ситчастої тарілки приймаємо: діаметр отворів  $d_o=3$  мм, висота переливу  $h_{\text{пер}}=30$  мм, вільний перетин тарілки  $F_o=0,08$  (8%).

Гідравлічний опір ситчастої тарілки визначимо за рівнянням:

$$\Delta P_{\text{сyx}} = \zeta \frac{W_o^2 \cdot \rho_{\text{ycp}}}{2} \quad (4.27)$$

$$\Delta P_{\text{сyx}} = 1,82 \cdot \frac{12,6^2 \cdot 1,8}{2} = 260,05 \text{ Па}$$

Швидкість пари в отворах:

$$W_o = W / F_o$$

(4.28)

$$W_o = 1,007 / 0,08 = 12,6 \text{ м/с}$$

$$\Delta P_{\sigma} = \frac{4\sigma}{1,3d_o + 0,08d_o^2} = \frac{4 \cdot 18,27 \cdot 10^{-3}}{1,3 \cdot 0,003 + 0,08 \cdot 0,003^2} = 18,74 \text{ Па}$$

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

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

(4.29)

$$L = 3547,93 \cdot 3,684 + 8250 = 21320,57 \text{ кг/год}$$

або в об'ємному вираженні 28,67 м<sup>3</sup>/год. (розділивши на

$$\rho_{\text{хср}} = 743,67 \text{ кг/м}^3)$$

Для колони D = 1,8 м, довжина зливного борту l<sub>сл</sub>=Π=1,050 м, тоді

$$\text{інтенсивність потоку } \frac{L}{l_{\text{сл}}} = \frac{28,67}{1,050} = 27,3 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{м}}.$$

$$\text{Так як } \frac{L}{l_{\text{сл}}} = 27,5 > 5 \frac{\text{м}^3}{\text{год} \cdot \text{м}}, \text{ то } m = 10000$$

Тоді за рівнянням:

$$\Delta P_{\text{ст}} = 1,3 \left[ K \cdot h_{\text{неp}} + \sqrt[3]{K \left( \frac{L}{m \cdot l_{\text{сл}}} \right)^2} \right] \cdot \rho_{\text{хср}} \cdot g$$

$$\Delta P_{cm} = 1,3 \left[ 0,5 \cdot 0,03 + \sqrt[3]{0,5 \left( \frac{28,67}{10000 \cdot 1,050} \right)^2} \right] \cdot 743,67 \cdot 9,81 = 289,3 \text{ Па.}$$

Гідравлічний опір однієї тарілки:

$$\Delta P_T = \Delta P_{cux} + \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{cm} \quad (4.31)$$

$$\Delta P_T = 260,05 + 18,74 + 289,3 = 568,09 \text{ Па}$$

Гідравлічний опір колони:

$$\Delta P_K = n \cdot \Delta P_T \quad (4.32)$$

$$\Delta P_K = 47 \cdot 568,09 = 26700,23 \text{ Па}$$

Раніше прийняту відстань між тарілками  $h=0,4$  м перевіряємо за співвідношенням:

$$h > 1,8 \cdot \Delta P_m / \rho_{xcp} \cdot g, \quad (4.33)$$

$$h = 0,4 \text{ м} > 1,8 \cdot \frac{568,09}{743,67 \cdot 9,81} = 0,14 \text{ м} - \text{умова виконується}$$

#### 4.7 Визначення діаметру штуцерів

Діаметр штуцера визначаємо за рівнянням.

Штуцер подачі флегми:

$$d = \sqrt{\frac{V_{\phi}}{0,785 \cdot W_{\phi}}} \quad (4.34)$$

$$V_{\phi} = \frac{G_{\phi}}{\rho_A} = \frac{G_p \cdot R}{\rho_A} \quad (4.35)$$

$$V_{\phi} = \frac{3547,93 \cdot 3,684}{3600 \cdot 750} = 4,84 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Так як швидкість потоку приймаємо орієнтовно, то можна прийняти щільність флегми, як щільність ацетону:  $\rho_A = 750 \text{ кг/м}^3$  при  $t = 56,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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

$$d = \sqrt{\frac{4,84 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,11 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø133x4 мм.

Штуцер подачі вхідної суміші:

$$d = \sqrt{\frac{V_F}{0,785 \cdot W_F}} \quad (4.36)$$

$$V_F = \frac{G_F}{\rho_F}; \quad \rho_F = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_F + (1 - \alpha_F) \cdot \rho_A}, \quad (4.37)$$

при  $t_{XF} = 64,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\rho_F = \frac{740,5 \cdot 750,1}{750,1 \cdot 0,43 + (1 - 0,43) \cdot 740,5} = 745,94 \text{ кг/м}^3$$

$$V_F = \frac{8250}{3600 \cdot 745,94} = 3,072 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

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

$$d = \sqrt{\frac{3,072 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,8}} = 0,07 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø89x4 мм.

Штуцер виходу кубового залишку:

$$d = \sqrt{\frac{V_W}{0,785 \cdot W_W}} \quad (4.38)$$

$$V_W = \frac{G_W}{\rho_W} = \frac{4702,07}{3600 \cdot 739} = 1,77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

$\rho_B = 739 \text{ кг/м}^3$  – щільність етилового спирту при  $t_{XW} = 77,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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

$$d = \sqrt{\frac{1,77 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,087 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера Ø108x4 мм.

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

$$d = \sqrt{\frac{V_{\kappa, \text{жс}}}{0,785 \cdot W_{\kappa, \text{жс}}}} \quad (4.39)$$

$$V_{\kappa, \text{жс}} = \frac{G_F + G_\Phi - G_W}{\rho_B} \quad (4.40)$$

$$V_{\kappa, \text{жс}} = \frac{8250 + 3547,93 \cdot 3,684 - 4702,07}{3600 \cdot 739} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Приймаємо  $W_{\kappa, \text{жс}} = 0,3 \text{ м/с}$ , тоді:

$$d = \sqrt{\frac{6,25 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,3}} = 0,163 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера  $\text{Ø}219 \times 6 \text{ мм}$ .  
Штуцер виходу пари з колони:

$$d = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W_y}} \quad (4.41)$$

$V_y = 2,56 \text{ м}^3/\text{с}$  (див. розділ 4.4).

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

$$d = \sqrt{\frac{2,56}{0,785 \cdot 15}} = 0,217 \text{ м}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера  $\text{Ø}273 \times 7 \text{ мм}$ .

#### 4.8 Теплові розрахунки

Підігрівач вхідної суміші

Рівняння теплового балансу для підігрівача:

$$Q = 1,05 \cdot G_F \cdot C_F' \cdot (t_{XF} - t_{нач}) = G_{Г.П} \cdot r, \quad (4.42)$$

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

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

$t_{нач}$  – початкова температура (задана).

Питома теплоємність вхідної суміші:

$$C_F' = \alpha_F \cdot C_A + (1 - \alpha_F) \cdot C_B, \quad (4.43)$$

$C_A, C_B$  – питомі теплоємності ацетону і етилового спирту при середній температурі.

$$t_{X_F}^{cp} = \frac{t_{X_F} + t_{нач}}{2} \quad (4.44)$$

$$t_{X_F}^{cp} = \frac{64,1 + 30}{2} = 47,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_A = 0,54 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_B = 0,669 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$C_F' = 0,43 \cdot 0,54 + (1 - 0,43) \cdot 0,669 = 0,614 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2572,66 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$$

$$Q = 1,05 \cdot \frac{8250}{3600} \cdot 2572,66 \cdot (64,1 - 30) = 211095 \text{ Вт}$$

Витрата гріючої пари:

$$G_{г.п} = \frac{Q}{r} \quad (4.45)$$

$$G_{г.п} = \frac{211095}{2085 \cdot 10^3} = 0,1012 \text{ кг/с}$$

$$r = 2085 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \text{ при } P = 6,5 \text{ кгс/см}^2$$

Середня різниця температур

$$\begin{array}{ccc} 161,15 \text{ } ^\circ\text{C} & \longrightarrow & 161,15 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 30 \text{ } ^\circ\text{C} & \longrightarrow & 64,1 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array}$$

Температура насиченої водяної пари при  $P=6,5 \text{ кгс/см}^2$  становить  $161,15 \text{ } ^\circ\text{C}$  [1, с.550].

Більша різниця температур:

$$\Delta t_{\delta} = 161,15 - 30 = 131,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Менша різниця температур:

$$\Delta t_{\mathcal{M}} = 161,15 - 64,1 = 97,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Так як  $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{131,15}{97,05} = 1,35 < 2$ , тоді середню різницю температур визначаємо за рівнянням:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2} \quad (4.46)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{131,15 + 97,05}{2} = 114,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

Поверхня теплообміну підігрівача вхідної суміші:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} \quad (4.47)$$

$$F = \frac{211095}{250 \cdot 114,1} = 6,4 \text{ м}^2$$

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

- діаметр кожуха 325 мм;
- труба 25х2 мм;
- кількість труб в теплообміннику 56 шт;
- довжина труб 1,5 м;
- поверхня теплообміну  $6,5 \text{ м}^2$ .

## 5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДГРІВАЧА

### 5.1 Початкові дані:

Наружний діаметр кожуха $D$ , мм	325
Довжина теплообмінних труб $l$ , мм	1500
Зовнішній діаметр теплообмінної труби $d_t$ , мм	25
Товщина стінки труби $S_m$ мм	2
Число ходів по трубах	2
Розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа	1,6
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа	1,6
Розрахункова температура труб, °С	100
Розрахункова температура кожуха, °С	160
Матеріал кожуха	Ст3сп
Матеріал розподільної камери	12X18H10T
Матеріал теплообмінних труб	12X18H10T
Матеріал трубної решітки	12X18H10T
Матеріал перегородок	Ст3сп
Матеріал прокладок розподільної камери	пароніт
Група теплообмінника	1

### 5.2 Визначення розрахункових параметрів

#### 5.2.1 Розрахункова температура

Розрахункову температуру розподільної камери  $t_{кам}$ , °С, визначаємо за формулою:

$$t_{кам} = 2 \cdot t_m - t_k \quad (5.1)$$

$$t_{кам} = 2 \cdot 100 - 160 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахункову температуру ізолюваних фланців визначаємо за формулою:

$$t_{\phi} = t_{кам} , \quad (5.2)$$

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

$$t_{\phi} = t_{\text{кам}} = 40^{\circ}\text{C}.$$

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

$$t_{\phi} = t_{\kappa} = 160^{\circ}\text{C}.$$

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

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 \cdot t_{\text{кам}}$$

(5.3)

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

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 \cdot t_{\text{кам}}$$

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 \cdot 40 = 39^{\circ}\text{C}$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору:

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 \cdot t_{\kappa}$$

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 \cdot 160 = 155^{\circ}\text{C}$$

### 5.2.2 Допустимі напружини

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

Таблиця 5.1 – Допустимі напружини деталей теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напружини, МПа		Відношення допустимих напружин, $[\sigma]_{20}/[\sigma]$
		при температурі $20^{\circ}\text{C}$ $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі $[\sigma]$	
Кожух	Ст3сп	154	144,4	1,066
Розподільна камера	12X18H10T	184	181,5	1,0138
Теплообмінні труби	12X18H10T	184	166,4	1,106
Трубна решітка	12X18H10T	184	166,4	1,106
Перегородки	Ст3сп	154	144,4	1,066

Фланці розподільної камери	12X18H10T	184	181,5	1,0138
Фланці кожуха	Ст3сп	154	144,4	1,066
Болти кріплення фланців штуцерів міжтрубного простору	Сталь 40	130	122,4	1,062
Болти і гайки кріплення апаратних фланців і штуцерів трубного простору	20X13	195	191,7	1,017
Примітка. Допустимі напружини при температурі 20°C і розрахунковій температурі визначені методом лінійної інтерполяції за [14].				

### 5.2.3 Коефіцієнти міцності зварних швів

Трубний простір теплообмінника по розрахунковому тиску, температурі і характеру робочого середовища відноситься до 1 групи апаратів [6], для якої довжина контрольованих швів складає 100% від їх спільної довжини. Для стикових швів з двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичною зваркою, коефіцієнт міцності зварних швів трубного простору приймаємо рівним

$$\varphi_p = 1$$

### 5.2.4 Робочий, розрахунковий і пробний тиск

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

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою

$$P = \max \{ |P_m|; |P_k|; |P_m - P_k| \}, \quad (5.4)$$

де  $P_m$  - розрахунковий тиск в трубному просторі, МПа;

$P_k$  - розрахунковий тиск в міжтрубному просторі, МПа.

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

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

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

де  $P$  – розрахунковий тиск в трубному і міжтрубному просторах відповідно,  $P_T = 1,6 \text{ МПа}$ ,  $P_K = 1,6 \text{ МПа}$ ;

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

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружин  $[\sigma]_{20} / [\sigma] = 1,0$ , пробний тиск складає

$$P_{np\ m} = 1,25 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot \frac{184}{181,5} = 2,0 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника

$$P_{z\ m} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,17 \cdot 10^{-6} = 0,021 \text{ МПа}; \quad (5.6)$$

де  $H_c$  - висота стовпа води в трубному просторі,  $H_c = 2,17 \text{ м}$ ;

Гідростатичний тиск при випробуванні

$$P_{z\ m} = 0,021 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{np\ m} = 0,05 \cdot 2,0 = 0,1 \text{ МПа}; \quad (5.7)$$

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

$$P_{\text{в}\ m} = P_{np\ m} = 2,0 \text{ МПа}$$

Умова

$$P_{em} = 2,0 \text{ МПа} \leq 1,35 \cdot P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot \frac{184}{181,5} = 2,2 \text{ МПа} \quad (5.8)$$

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

Для міжтрубного простору при відношенні допустимих напружин  $[\sigma]_{20} / [\sigma] = 1,062$  пробний тиск складає

$$P_{пк} = 1,25 P_{\kappa} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 1,6 \cdot 1,062 = 2,1 \text{ МПа};$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{гв\kappa} = \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot H_{\kappa} \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} = 0,015 \text{ МПа} \leq 0,05 P_{пк} = 0,05 \cdot 2,1 = 0,1 \text{ МПа}$$

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

$$P_{ук} = P_{пк} = 2,1 \text{ МПа};$$

Умова

$$P_{вк} = 2,1 \text{ МПа} \leq 1,35 P_{\kappa} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,6 \cdot 1,062 = 2,3 \text{ МПа}$$

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

#### 5.2.5 Додатки до розрахункової товщини конструктивних елементів

Сума додатків до розрахункової товщини трубних решіток  $C_p$ , мм, складає:

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3, \quad (5.9)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Добавка  $C_2$  приймається по стандартах на прокат залежно від товщини листа за таблицею 6 [13],  $C_2=0,8$  мм.

Технологічна добавка  $C_3$  передбачає компенсацію стоншування стінки елементу апарату при технологічних операціях – витяжці, штампуванні, гнутті і т. д. Приймаємо  $C_3=0$ .

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

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

Суму добавки до розрахункової товщини стінки визначаємо за формулою:

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

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

Технологічна добавка  $C_3$  передбачає компенсацію стоншування стінки елементу апарату при технологічних операціях – витяжці, штампуванні, гнутті і т. д. Приймаємо  $C_3=0$ .

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

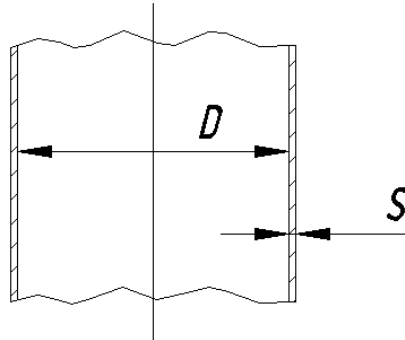
Сума добавок до розрахункової товщини еліптичного днища

Добавка  $C_2$  приймається по стандартах на прокат залежно від товщини листа за таблицею 6 [13],  $C_2=0,5$  мм.

$$\text{Тоді } C = 1 + 0,5 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

### 5.3 Розрахунок товщини стінки кожуха

#### 5.3.1 Розрахунок циліндричної обичайки кожуха



Рисисунок 5.1 - Циліндрична обичайка

Розрахункова товщина стінки апарата визначається за формулою

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

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

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

$[\sigma]_k$  – допустима напружина для матеріалу обичайки кожуха при розрахунковій температурі,  $[\sigma]_k = 144,4$  МПа;

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

$$S_p = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 144,4 \cdot 1 - 1,6} = 1,7 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою

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

$$S \geq 1,7 + 2,2 = 3,9 \text{ мм}$$

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

Визначення допустимого надлишкового тиску

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

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

$$[P] = \frac{2 \cdot 144,4 \cdot 1,0 \cdot (8 - 2,2)}{309 + (8 - 2,2)} = 5,3 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

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

$$1,6 \text{ МПа} < 5,3 \text{ МПа, умова виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовуються при відношенні товщини стінки до діаметру

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

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

умова виконується, отже, формули застосовуються.

## 5.4 Розрахунок розподільної камери

### 5.4.1 Розрахунок товщини циліндричної обичайки камери

Розрахункова товщина стінки камери визначається за формулою (5.12)

$$S_p = \frac{P_k \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_p - P_k},$$

де  $P_k$  – розрахунковий внутрішній тиск в міжтрубному просторі теплообмінника,  $P_k = 1,6 \text{ МПа}$ ;

$D$  – внутрішній діаметр обичайки (кожуха),  $D = 309 \text{ мм}$ ;

$[\sigma]_k$  – допустима напружина для матеріалу обичайки кожуха при розрахунковій температурі,  $[\sigma]_k = 181,5 \text{ МПа}$ ;

$\varphi_p$  – коефіцієнт міцності подовжніх швів,  $\varphi_p = 1$ .

$$S_p = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 181,5 \cdot 1 - 1,6} = 1,4 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха визначається за формулою (5.13)

$$S \geq 1,4 + 2,2 = 3,6 \text{ мм}$$

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

Визначення допустимого надлишкового тиску

Для набутого значення  $S$  розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за формулою (5.14)

$$[P] = \frac{2 \cdot 181,5 \cdot 1,0 \cdot (8 - 2,2)}{309 + (8 - 2,2)} = 6,7 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова (5.15)

$$1,6 \text{ МПа} < 6,7 \text{ МПа}, \text{ умова виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовуються при відношенні товщини стінки до діаметру за формулою (5.16)

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

умова виконується, отже, формули застосовуються.

#### 5.4.2 Розрахунок товщини стінки днища камери

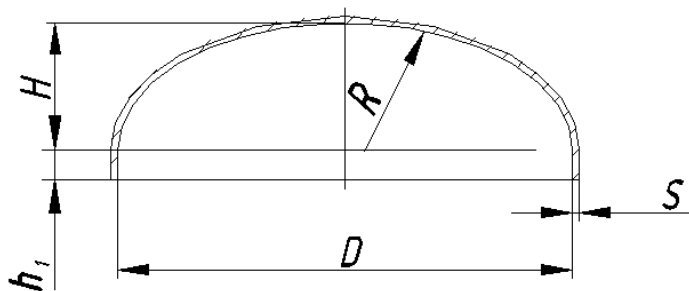


Рисунок 5.2 - Еліптичне днище

Розрахункова товщина стінки днища камери визначається за формулою

$$S_{lp} = \frac{P_t \cdot R}{2 \cdot [\sigma]_t \cdot \phi_p - 0,5 \cdot P_t}, \quad (5.17)$$

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

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

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

$[\sigma]_t$  - допустима напружина для матеріалу днища при розрахунковій температурі,  $[\sigma]_m = 181,5 \text{ МПа}$ ;

$$S_{1p} = \frac{1,6 \cdot 309}{2 \cdot 181,5 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,6} = 1,4 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки днища визначається за формулою (5.13)

$$S_1 \geq 1,4 + 1,5 = 2,9 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки днища камери  $S_1=4 \text{ мм}$ .

Визначення допустимого тиску

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

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

$$[P] = \frac{2 \cdot 181,5 \cdot 1 \cdot (4 - 1,5)}{309 + 0,5 \cdot (4 - 1,5)} = 2,9 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова (5.15)

$$1,6 \text{ МПа} < 2,9 \text{ МПа}, \text{ умова виконується.}$$

Перевірка умов застосування розрахункових формул

Розрахункові формули для еліптичних днищ застосовуються при виконанні умов

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

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

де  $H$  – висота опуклої частини днища,  $H=77 \text{ мм}$ , [14].

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

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

застосовуються.

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

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

$$S_p = 24 \text{ мм}$$

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

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

$S_{pp}$  розрахункова товщина трубної решітки,

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

—

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

$$S_{pp} = 0,5 D_e \sqrt{P/[\sigma]_p}$$

$$(5.22)$$

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 39 \sqrt{1,6/166,4} = 1,9 \text{ мм}$$

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

- визначається конструктивно

$$S_p \geq S_{pp} + C_p \quad 24 \geq 1,9 + 1,8 = 3,7 \text{ мм} - \text{умова виконується}$$

Розрахункову товщину трубної решітки в перерізу канавки під подовжню перегородку визначають за формулою

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

(5.23)

- де  $d_o$  — діаметр отвору в решітці під трубу, мм;  
 $b_n$  — ширина паза в трубній решітці під подовжню перегородку, мм;  
 $t_p$  — крок розташування отворів в решітці, мм;  
 $t_n$  — крок розташування отворів в зоні паза, мм;  
 $\varphi_p$  — коефіцієнт ослаблення трубної решітки.

Коефіцієнт ослаблення трубних решіток визначається за формулою:

$$\varphi_p = 1 - \frac{d_0}{t_p}$$

(5.24)

Розміри  $t_p$ ,  $t_n$  і  $d_o$  приймаються залежно від зовнішнього діаметру труби і класу точності з'єднання труба – трубна решітка по таблиці 1 [15].

Клас точності з'єднання труба - трубна решітка приймаємо 3.

$$\varphi_p = 1 - \frac{25,35}{32} = 0,208$$

$$\begin{aligned} S_{np} &= 1,9 \cdot \max \left\{ 1 - \sqrt{\frac{25,35}{8} \cdot \left( \frac{55,4}{32} - 1 \right)}; \sqrt{0,208} \right\} = \\ &= 1,9 \cdot \max \{ -1,3; 0,456 \} = 0,9 \text{ мм} \end{aligned}$$

Товщина трубної решітки в перерізу канавки під подовжню перегородку у розподільній камері має бути не менше

$$S_n \geq S_{np} + C_p = 0,9 + 1,8 = 2,7 \text{ мм}$$

По конструктивним міркуванням приймаємо товщину трубної решітки в перетині канавки під подовжню перегородку в розподільній камері

$$S_n = 20 \text{ мм}$$

## 5.6 Розрахунок лінзового компенсатора

### 5.6.1 Умови застосування розрахункових формул

Розрахункові формули застосовні, якщо виконуються умови:

$$\frac{S_n}{d_n} \leq 0,035; \quad 1,08 \leq \frac{D_n}{d_n} \leq 3,00; \quad \frac{2 \cdot r}{D_n - d_n} \leq 0,4 \quad (5.25)$$

$S_n = 4 \text{ мм}$  - товщина стінки лінзового компенсатора;

$d_n = 325 \text{ мм}$  - зовнішній діаметр западини хвилі компенсатора;

$D_n = 475 \text{ мм}$  - зовнішній діаметр гребеня хвилі компенсатора;

$r = 14 \text{ мм}$  - внутрішній радіус тороїдального переходу в верхній та нижній частинах хвилі компенсатора

$$\frac{S_n}{d_n} = \frac{4}{325} = 0,012 < 0,035$$

$$1,08 < \frac{D_n}{d_n} = \frac{475}{325} = 1,46 < 3,00$$

$$\frac{2 \cdot r}{D_n - d_n} = \frac{2 \cdot 14}{475 - 325} = 0,187 < 0,4$$

### 5.6.2 Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_1 = d_n - S_n$$

(5.26)

$$d_1 = 325 - 4 = 321 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора визначають за формулою

$$d_2 = D_n - S_n$$

(5.27)

$$d_2 = 475 - 4 = 471 \text{ мм}$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$r_s = 0,5 (2 r + S_n)$$

(5.28)

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховують за формулою

$$\rho_n = 2 - 100 \frac{r_s}{d_1 + d_2} \quad (5.29)$$

$$\rho_n = 2 - 100 \cdot \frac{16}{321 + 471} = -0,02 \text{ мм}$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора розраховують за формулою

$$b_n = 0,5 (d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s)$$

(5.30)

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

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора визначають за формулою

$$R_o = 0,25 (d_2 + d_1 - 2 b_n) \quad (5.31)$$

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

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

$$d_{cp} = 0,5 (d_2 + d_1)$$

(5.32)

$$d_{cp} = 0,5 \cdot (471 + 321) = 396 \text{ мм}$$

Характеристики хвилі визначають за формулами:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1$$

(5.33)

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

$$\eta = \frac{d_2 - d_1}{2 r_s} - 2$$

(5.34)

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

$$\alpha = S_n / d_1$$

(5.35)

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

$$\lambda = b_n / R_o$$

(5.36)

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

$$\gamma = 1 + 1,25 \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2 r_s}{d_2 - d_1} \quad (5.37)$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \cdot \frac{471}{321} - \frac{3,2 \cdot 16}{471 - 321} = 2,59$$

### 5.6.3 Розрахунок компенсатора на міцність

Виконавчу товщину стінки компенсатора  $S_n$ , мм, розраховують за формулою

$$S_n \geq S_{np} + C_n \quad (5.38)$$

де  $S_{np}$  — розрахункова товщина стінки компенсатора, мм;

$C_n$  — сума добавок до розрахункової товщини стінки компенсатора, мм.

Суму добавок до розрахункової товщини стінки компенсатора при  $S_n = 4,0$  мм приймають рівною не більше 0,8 мм.

Розрахункову товщину стінки компенсатора визначають за формулою

$$S_{np} = S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3 / S_4)^4}} \quad (5.39)$$

де

$$S_3 = 0,25 (d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P / [\sigma]_n} \quad (5.40)$$

$$S_3 = 0,25 \cdot (471 - 321 - 2,59 \cdot 16) \cdot \sqrt{\frac{1,6}{144,4}} = 2,8 \text{ мм}$$

$$S_4 = \frac{P \cdot d_{cp}}{2 [\sigma]_n \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2 l_\kappa + 2,3 r_s} \quad (5.41)$$

$$S_4 = \frac{1,6 \cdot 396}{2 \cdot 144,4 \cdot 1} \cdot \frac{80}{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,8 \text{ мм}$$

Позначення в формулах (5.37)-(5.39):

де  $[\sigma]_n$  — допустима напружина для матеріалу лінзи при розрахунковій температурі, МПа;

$L$  — виконавча довжина компенсатора, мм;

$l_\kappa$  — приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, мм;

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

$$S_{\text{лр}} = 0,83 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (2,79/0,8)^4}} = 2,95 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки компенсатора розраховують за формулою

$$S_{\text{л}} \geq S_{\text{лр}} + C_{\text{л}} \quad (5.42)$$

$$S_{\text{л}} = 2,95 + 0,8 = 3,75 \text{ мм}$$

Приймаємо:

$$S_{\text{л}} = 4 \text{ мм}$$

Допустимий тиск  $[P]_{\text{л}}$ , МПа, визначають за формулою

$$[P]_{\text{л}} = \frac{[P]_{\text{л}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{\text{л}}}{[P]_{\text{л}}}\right)^2}} \quad (5.43)$$

де

$$[P]_{\text{л}} = 16 \left( \frac{S_{\text{л}} - C_{\text{л}}}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_{\text{л}} \quad (5.44)$$

$$[P]_{\text{л}} = 16 \cdot \left( \frac{4 - 0,8}{471 - 321 - 2,59 \cdot 16} \right)^2 \cdot 144,4 = 2,0 \text{ МПа}$$

$$[P]_{\text{л}} = \frac{2 [\sigma]_{\text{л}} \cdot \varphi \cdot (S_{\text{л}} - C_{\text{л}})}{d_{\text{сп}}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2 l_{\text{к}} + 2,3 r_s}{L} \quad (5.45)$$

$$[P]_{\text{л}} = \frac{2 \cdot 144,4 \cdot 1 \cdot (4 - 0,8)}{396} \cdot \frac{471 - 321 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{80} = 5,7 \text{ МПа}$$

$$[P]_{\text{л}} = \frac{2,0}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,0}{5,7}\right)^2}} = 1,88 \text{ МПа}$$

При цьому повинна виконуватися умова

$$P_{\text{к}} \leq [P],$$

1,6 МПа < 1,88 МПа, умова виконується.

#### 5.6.4 Розрахунок числа лінз компенсатора

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

$$\Delta = l \cdot [\alpha_{\text{к}} \cdot (t_{\text{к}} - t_0) - \alpha_{\text{м}} \cdot (t_{\text{м}} - t_0)] \quad (5.46)$$

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

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

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

$$l - \text{довжина труб, мм} \quad l = 1500 \text{ мм}$$

$$\alpha_k = 12 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_m = 17 \cdot 10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta = 1500 \cdot \left| [12 \cdot 10^{-6} \cdot (160 - 20) - 17 \cdot 10^{-6} \cdot (100 - 20)] \right| = 0,5 \text{ мм}$$

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

Необхідне число лінз в компенсаторі розраховуємо за формулою

$$n_n = \frac{\Delta}{\Delta_n} = \frac{0,5}{3} = 0,16$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа,  
 $n_n = 1$ .

## 6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПІДГРІВАЧА

### 6.1 Ввиготовлення основних елементів підігрівача

#### 6.1.1 Виготовлення обичайок

Обичайки виготовляють звареними вальцюванням, штампуванням обичайок допускається робити тільки на відповідних машинах або пресах. Виготовлення обичайок ручним способом, а також місцеве нагрівання й виправлення молотком не допускається.

Для виготовлення обичайки спочатку виконується розмітка листових заготівель. Розмітка виконується на розмічальних столах або плитах. По маркуванню листа перевіряється відповідність марки металу, довжини, товщини й ширини листа вимогам креслення. Лист укладається на розмічальний стіл маркуванням нагору й на ньому розмічається базова риска уздовж крайки з найменшої серповидністю. На листі розмічаються ризики під відрізок, ризики з непаралельністю не більше 1 мм під строжку й контрольні ризики. Різання листа здійснюють на гильйотинних ножицях. Після різання здійснюють обробку кромки на верстаті. Після цього лист подається до преса для підгибки кромки. Після підгинання кромки лист подається до листозгинальної машини із трьома валками розташованими симетрично. Зборку поздовжнього стику роблять гідравлічними струбцинами. Після приварки на ролікоопорах вхідної й вихідної планок звареним трактором виконується зварювання внутрішнього шва на флюсовій подушці, а після зачищення кореня шва зварюється зовнішній поздовжній шов. Після зварювання зовнішнього шва на стенді шов зачищають, знімають посилення й видаляють вхідну й вихідну планки. Далі обичайка подається до листозгинальної машини на виправлення, зварні шви контролюються ультразвуковою дефектоскопією. Отвори в обичайці під штуцера обробляють вирізкою газовим різакм з попередньою розміткою.

### 6.1.2 Виготовлення еліптичних днищ

Розміри й форма днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78.

Виготовлення еліптичного днища виконують по технічних умовах на виготовлення й поставку днищ, які викладені в стандартах на днища. Днища можна виготовляти штампуванням на пресах, методом обкатування роликками, електрогідравлічним й електромагнітним штампуванням. Зварні шви розташовують по хорді на відстані від центра не більше 440 мм. Мінімальна відстань між меридіональними швами приймають не менш 100 мм. Днища зі штампованих елементів зварюють стиковими швами із двостороннім проваром.

Формовку днища методом штампування на пресах проводять у наступному порядку. Заготівля за допомогою транспортера подається в нагрівальну піч для рівномірного нагрівання до необхідної температури. Температурний інтервал штампування 850-950 °С. Нагріта заготівля спеціальними захватами витягається з печі й подається на транспортер, за допомогою якого транспортується до штампа, що перебуває під пресом. Штамп складається із циліндричного пуансона з еліпсоїдною торцевою поверхнею, виконаної за формою кулі. Під час штампування, пуансон, рухаючись униз тягне заготовку через матрицю.

Потім заготівлю встановлюють на протяжне кільце й штампують, як правило, за одну операцію. Заготівля знімається при ході пуансона нагору. Завершальні операції передбачають розмітку днищ для підрізування торця й розмітку отворів, підрізування торця й обробку отворів, термообробку, очищення, контроль і таврування.

### 6.1.3 Збирання й зварювання корпусу

В обичайці кромки під зварювання, що стикуються, завширшки 15-20 мм від кромки й торця зачищаються абразивом або металевою щіткою. Обичайки встановлюють на складальний стенд, збираються й зварюються по кільцевих швах. Поздовжні шви в горизонтальних апаратах повинні

розташовуватися поза межами нижньої частини корпусу, якщо ця частина мало доступна для огляду. Потім виконується зварювання спочатку зовнішніх, а потім після зачищення - зварювання внутрішніх кільцевих швів.

#### 6.1.4 Кріплення труб в трубних решітках

В кожухотрубчастих теплообмінних апаратах застосовують два види з'єднань труб з трубними решітками:

- вальцьовані;
- комбіновані, які здійснюються зваренням труб з трубними решітками з наступним розвальцюванням

Галузевим стандартом встановлено чотири класи точності з'єднання труб з трубними решітками, які вибираються залежно від призначення теплообмінних апаратів відповідно до групи посудин та апаратів за стандартом.

Позначення типу з'єднання складається з позначення типу розвальцювання та типу зварення (для комбінованих з'єднань).

Для кожного класу точності з'єднання труб з трубними решітками галузевим стандартом встановлені величини допусків зовнішніх діаметрів труб і отворів під труби в трубних решітках.

Таблиця 6.1 Класи точності та типи з'єднань труб з трубними решітками

Клас точності	Призначення теплообмінних апаратів відповідно до групи посудин та апаратів за галузевим стандартом [45]	Тип з'єднання
1	Апарати 1 групи, які за розрахунковим тиском та температурою відповідають 2 групі	C2P 4, C1P4 <sup>1)</sup> , P4 <sup>2)</sup> ,

		P5 <sup>3)</sup>
2	<p><i>a</i> – апарати 1 групи, які за розрахунковим тиском та температурою відповідають 3 групі;</p> <p><i>б</i> – 2 група</p>	<p>C1P 4, C1P3, C3P4<sup>4)</sup> , P4<sup>2)</sup>, P5<sup>3)</sup></p>
3	<p><i>a</i> – апарати 1 групи, які за розрахунковим тиском та температурою відповідають 4 групі;</p> <p><i>б</i> – 3 група</p>	<p>P4, P5, C1P3, C1P2, C3P4<sup>4)</sup> , C1P1</p>
4	<p><i>a</i> – апарати 4 групи;</p> <p><i>б</i> – апарати для роботи під вакуумом</p>	<p>P2, P4, C1P 1, C3P1</p>
<p>Примітки:</p> <p>1) <math>P \leq 6,4</math> МПа;</p> <p>2) Тиск середовища в кожусі <math>P \leq 8,0</math> МПа; <math>t \leq 450^\circ\text{C}</math> ;</p> <p>3) Теж саме, що для середовищ із підвищеною проникаючою здатністю (водень, гелій, легко займисті речовини);</p> <p>4) Для сталей із підвищеною схильністю до створення гарячих тріщин (06ХН28МДТ, 08Х22Н6Т тощо.).</p>		

Вальцьовані з'єднання

Найбільш поширеним способом кріплення кінців труб в трубних решітках є розвальцювання. Труби вставляють в отвори в трубних решітках з певним зазором, після чого їх розвальцюють зсередини спеціальним інструментом, який оснащується роликами – вальцювкою. При цьому в стінках труби створюються залишкові пластичні деформації, а в трубній решітці – пружні деформації, завдяки чому досягається необхідна міцність та герметичність вальцюваного з'єднання. Проте при цьому матеріал труб піддається наклепу (зміцнюється з частковою втратою пластичності), що може призвести до корозійного розтріскування труб.

Зі зменшенням початкового зазору між трубою та отвором в решітці наклеп зменшується. Для забезпечення якісного розвальцювання та можливості заміни пошкоджених труб необхідно, щоб твердість матеріалу трубної решітки перевищувала твердість матеріалу труб.

Вальцюване з'єднання повинно бути міцним і герметичним. Міцність з'єднання оцінюють зусиллям викиду труби з отвору в трубній решітці, герметичність – максимальним тиском середовища, при якому з'єднання залишається герметичним.

Вальцювані з'єднання застосовують залежно від товщини трубної решітки з одною або двома кільцевими канавками, які підвищують їхню міцність.

Вальцювані з'єднання успішно експлуатуються при робочих тисках до 12 МПа і температурах до 450 °С. Разом з тим вони мають ряд вад. Явища повзучості та релаксації при високих температурах порушують герметичність з'єднання, у зв'язку з чим при робочих температурах понад 450 °С для сталевих труб слід застосовувати комбіновані з'єднання.

Основні типи розвальцювання, які застосовуються у вальцюваних і комбінованих з'єднаннях труб із трубними решітками, показані на рис. 6.1.

Розвальцювання типу Р1 (рис. 6.1,а) застосовується лише для комбінованих з'єднань труби з трубною решіткою при її товщині  $s_p \geq 20$  мм.

При цьому розвальцювання захищає зварний шов від корозійної дії середовища, запобігаючи щільову корозію, а також значно знижує можливість виникнення у зварних швах втомних пошкоджень, які виникають внаслідок вібрації труб при проходженні пульсуючого потоку середовища або від інших можливих перемінних навантажень.

Розвальцювання типу Р2 (рис. 6.1,б) застосовується як для вальцьованих, так і для комбінованих з'єднань труби з трубою решіткою при її товщині  $20 \leq S_p < 24$ .

Розвальцювання типу Р4 (рис. 6.1,г) застосовується як для вальцьованих, так і для комбінованих з'єднань труби з трубою решіткою при її товщині  $S_p \geq 24$  мм.

Розвальцювання типу Р3 (рис. 6.1,в) застосовується лише для комбінованих з'єднань труб з трубними решітками. Труби із закалювальних сталей (1Х13, 15ХМ та ін.) після зварення розвальцьовують на відстань 10 мм від зварного шва розвальцювальним інструментом з роликами, округленими з двох боків. Відстань 10 мм замірюється від вершини зварного шва до начала конічної частини ролика (рис. 6.1,в). У цьому випадку в трубній решітці нарізається лише одна кільцева канавка.

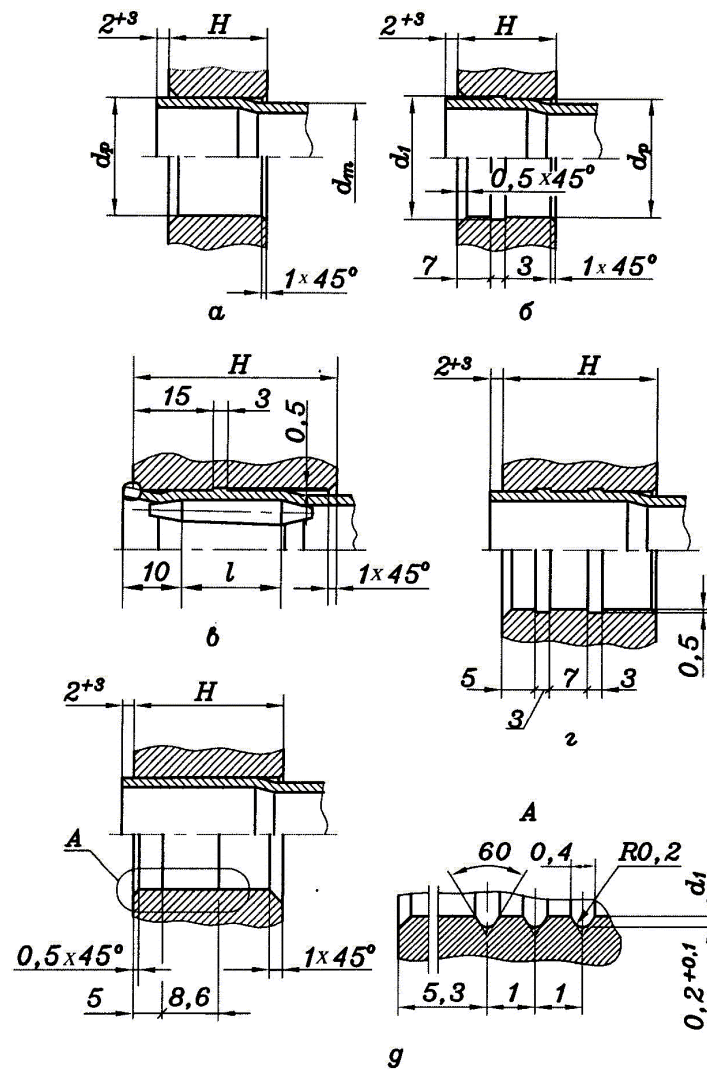


Рис. 6.1. Основні типи розвальцювання труб в трубних решітках

а – тип P1; б – тип P2; в – тип P3; г – тип P4; д – тип P5

Розвальцювання типу P5 (рис. 6.1,д) застосовується лише для вальцьованих з'єднань труби з трубною решіткою при її товщині  $H \geq 20$  мм для середовищ із підвищеною проникаючою здатністю (гази, легко займисті речовини).

Вальцьовані з'єднання менш трудомісткі у виготовленні та більш ремонтоздатні порівняно з комбінованими, тому їм слід віддавати перевагу при інших рівних умовах.

Довжина  $l$  розвальцювання всіх типів наведена в табл. 6.2. Довжина  $l$  розвальцювання типу P3 наведена на рис. 6.1,в.

Довжина розвальцювання  $l$  з'єднань усіх типів крім типу P3,

визначається відстанню від лицевої площини трубної решітки до кінця конічної частини ролика розвальцювального інструмента (рис. 6.2).

У вальцьованих з'єднаннях труби повинні виступати над поверхнею трубної решітки не менше ніж на 2 мм. Допустиме відхилення величини вильоту труб не повинно бути більше плюс 3 мм.

Таблиця 6.2 Довжина розвальцювання труб в трубній решітці, мм

Зовнішній діаметр труби $d_m$	Всі типи розвальцювання крім РЗ				Розвальцювання типу РЗ	
	Товщина трубної решітки $H$ , не менше	Довжина розвальцювання $l$	Найменша товщина трубної решітки $H_{min}$	Найменша довжина розвальцювання	Товщина трубної решітки $H$ , не менше	Довжина розвальцювання $l$
20	24	19	20	12	31	20
25	31	26		15	35	24

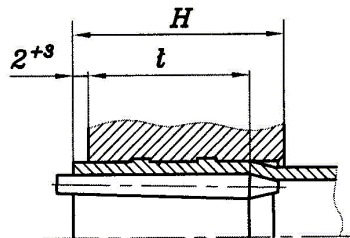


Рис. 6.2. Довжина розвальцювання  $l$  вальцьованих з'єднань усіх типів крім типу РЗ

#### Комбіновані з'єднання

Типи зварення труб з трубними решітками, які застосовують в комбінованих з'єднаннях, показані на рис. 6.3 і визначаються призначенням теплообмінних апаратів відповідно до групи посудин та апаратів і типу з'єднання, наведеними в табл. 6.1.

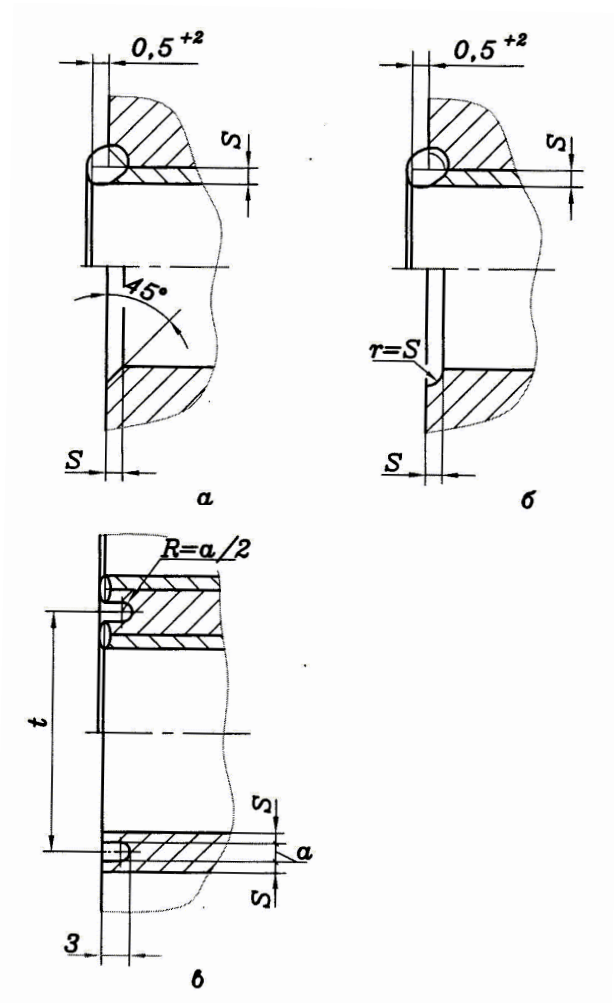


Рис. 6.36. Типи зварення труб з трубними решітками

*a* – тип С1; *б* – тип С2; *в* – тип С3

При зваренні за типом С3 (рис.6.3,в) ширину кільцевої канавки *a* слід приймати за табл. 1.17.

Таблиця 6.3 Ширина кільцевої канавки для зварення типу С3, мм

Розмір труби	25×2	25×1,5
Ширина канавки <i>a</i>	2,5	3,5

В комбінованих з'єднаннях труби повинні виступати над поверхнею трубної решітки не менше ніж на 2 мм крім апаратів з розширником на кожусі, для яких виступ труби над поверхнею трубної решітки має бути не

менше 0,5 мм. Допустиме відхилення величини вильоту труб не повинно бути більше +2 мм для типів зварення С1 і С2 та + 0,5 мм для типу С3.

Найменший граничний розмір перемички  $m_{min}$  визначається за табл. 6.4.

Таблиця 6.4 Розміри перемички між отворами під труби в трубних решітках, мм

Номінальний зовнішній діаметр труби $d_m$	Клас точності з'єднання труба-трубна решітка	Номінальний розмір перемички $m = t - d_m$	Найменший граничний розмір перемички $m_{min}$ при товщині трубної решітки $s_p$			
			до 20	від 21 до 40	від 41 до 80	від 81 до 120
20	1	5,85	5,1	5,0	4,9	4,7
	2	5,75	5,0	4,9	4,7	4,5
	3	5,65	4,8	4,8	4,6	4,4
	4	5,50	4,7	4,6	4,5	4,3
25	1	6,85	6,1	6,0	5,9	5,8
	2	6,75	6,0	5,9	5,8	5,6
	3	6,65	5,8	5,8	5,7	5,5
	4	6,50	5,7	5,6	5,5	5,4

Якщо для заданих розмірів труби, товщини решітки (табл. 6.2) та вибраного типу зварення (табл. 6.4),  $m_{c min} \leq m_{min}$ , застосування цього типу зварення не допускається.

Найменший розрахунковий граничний розмір перемички  $m_{c min}$  визначається за табл.6.5.

Діаметри отворів під труби в трубних решітках наведені в табл. 6.6.

Таблиця 6.5 Найменший розрахунковий граничний розмір  
перемички

Тип зварення	C1	C2	C3
Розмір перемички $m_{c\ min}$	$2 S_m$	$2 S_m + 0,5$	$2 S_m + 1,6$

Таблиця 6.6 Діаметри отворів під труби в трубних решітках, мм

Номінальний зовнішній діаметр труби $d_m$	20				25			
Клас точності з'єднання труба-трубна решітка	1	2	3	4	1	2	3	4
Номінальний діаметр отвору під труби $d_p$	20,15	20,25	20,35	20,50	25,15	25,25	25,35	25,50
Найбільший зовнішній діаметр труби $d_{m\ max}$	20,10	20,20	20,30	20,45	25,10	25,20	25,30	25,45

Найменши й зовнішній діаметр труби $d_{m \min}$	19,90	19,80	19,70	19,55	24,90	24,80	24,70	24,55
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

## 6.2 Збирання теплообмінника

Збирання теплообмінника необхідно проводити в такій послідовності:

- приєднати кришки;
- змонтувати фланцеві сполуки кришок та трубчатки;
- змонтувати трубопроводи входу та виходу продукту;
- заізолювати теплообмінник.

## 7 РЕМОНТ ПІДГРІВАЧА

### Організація ремонтів хімічного устаткування

На хімічних підприємствах і ремонтних організаціях України діє Система технічного обслуговування і ремонту технологічного і теплоенергетичного устаткування хімічних підприємств. "Система ТОиР" є галузевим керівним і нормативним документом, який регламентує порядок планування, підготовки, організації, проведення, контролю і обліку робіт по технічному обслуговуванню і ремонту устаткування, що проводяться по заздалегідь складеному на основі типового об'єму робіт плану.

Використання "Системи ТОиР" забезпечує рішення наступних завдань :

- найбільш ефективну організацію технічного обслуговування і ремонту устаткування;
- відвертання раптового виходу устаткування з ладу, підтримка його в працездатному стані впродовж ремонтного циклу і підвищення експлуатаційної надійності і довговічності;
- узгодження графіку ремонтних робіт з планом виробництва;
- скорочення витрат на ремонт і підвищення його якості.

Виконання поставлених завдань забезпечується виконанням ряду організаційних положень :

- устаткування розподіляється по ділянках з відповідним експлуатаційним і ремонтним персоналом;
- експлуатаційний і черговий ремонтний персонал зобов'язаний знати і дотримуватися правил технічної експлуатації ввіреного устаткування;
- експлуатаційний персонал забезпечує технічний догляд за устаткуванням, бере участь в усуненні несправностей при щозмінному обслуговуванні і може притягуватися до участі в роботах по ремонту устаткування;

- черговий ремонтний персонал виконує роботи по щозмінному технічному обслуговуванню устаткування, включаючи усунення несправностей, може бути використаний при підготовці устаткування до ремонту і проведенні ремонту усіх видів і об'ємів;
- ремонтний персонал забезпечує виконання поточного і капітального ремонту устаткування, його випробування і здачу в експлуатацію;
- зупинення устаткування на плановий ремонт проводиться відповідно до затвердженого графіку із забезпеченням ремонтною документацією, виконавцями, запасними частинами і матеріалами;
- в процесі ремонту часто використовується заміна несправних агрегатів, вузлів і зношених деталей, планування і проведення ремонтних робіт великих об'єктів по мережевому графіку, застосовується механізація важких і трудомістких робіт;
- організовується ремонтно-виробнича база для задоволення потреби в запасних деталях, вузлах, агрегатах з дотриманням правил їх обліку і зберігання;
- систематично проводяться роботи по модернізації устаткування, підвищенню його довговічності, уніфікації вузлів і деталей, їх відновленню, зміцненню і захисту від корозії;
- планово-запобіжний ремонт робиться або по методу планово-періодичного ремонту, або післяоглядовому методу або даним діагностики (по технічному стану), причому вибір методу залежить від значимості устаткування в технологічному процесі, його конструктивних особливостей, рівня технічної оснащеності діагностики.

Метод планово-періодичного ремонту полягає в тому, що усі види планового ремонту виконуються з певною періодичністю у встановлені нормативами терміни (через певне число відпрацьованих агрегата (машино) -годин). При плануванні цього ремонту використовуються наступні поняття:

- структура ремонтного циклу, це чергування ремонтів в певній послідовності, через певні проміжки часу;
- ремонтний цикл, це найменший період експлуатації, що повторюється, впродовж якого виконуються в певній послідовності встановлені види технічного обслуговування і ремонту;
- міжремонтний період, цей час роботи устаткування між двома послідовно проведеними ремонтами.

Таким чином, в основу "Системи ТОиР" покладено поєднання технічного обслуговування і планово-запобіжних ремонтів. Як правило, планово-запобіжний ремонт здійснюється по методу планово-періодичного ремонту для основного устаткування і по методу післяоглядового ремонту для допоміжного устаткування.

Тут, під терміном устаткування розуміється активна частина основних виробничих фондів хімічних підприємств (машини, апарати, установки, технологічні лінії, трубопроводи та інші пристрої, використовувані при виробництві продукції).

В основному устаткуванні здійснюються основні технологічні процеси отримання продукту. Вихід основного устаткування з ладу призводить до істотного скорочення або припинення випуску продукції, погіршення її якості.

Допоміжне устаткування забезпечує повноцінне протікання технологічного процесу і роботу основного устаткування і часто може бути використане у багатьох галузях промисловості.

Одно і те ж устаткування, залежно від значення та функцій в технологічному процесі, може бути віднесене як до основного, так і до допоміжного. Номенклатура основного і допоміжного устаткування складається по кожному цеху керівниками технологічних цехів спільно з представниками ремонтної служби і затверджується головним інженером підприємства.

Відповідно до трудомісткості ремонтних робіт, особливостями ушкоджень і зношення складових частин устаткування "Система ТОиР" передбачає два види ремонтів:

- поточний;
- капітальний.

Залежно від характеру і трудомісткості робіт, що проводяться при ремонті, а так само конструктивних особливостей устаткування поточні ремонти підрозділяють на:

- перший поточний ремонт (Т1), має найменший обсяг робіт;
- другий поточний ремонт (Т2), обсяг робіт більший, ніж при Т1;
- третій поточний ремонт (Т3), має найбільший обсяг ремонтних робіт.

При поточному ремонті виконуються наступні основні роботи:

- роботи по періодичному технічному обслуговуванню;
- заміна швидкоспрацьованих деталей і вузлів;
- ремонт футеровки і протикорозійних покриттів;
- ревізія арматури, заміна сальникових набивань, прокадок;
- перевірка на точність;
- ревізія електроустаткування.

Типовий перелік робіт виконуваних при поточному ремонті конкретного виду устаткування складається керівником ремонтного підрозділу технологічного цеху або майстром ЦЦР, РМЦ, затверджується головним механіком і прикладається до "Ремонтного журналу".

Для підготовки і проведення поточного ремонту складається наступна документація:

- відомість дефектів;
- заявка на запасні частини, матеріали.

Особа, відповідальна за виведення устаткування в поточний ремонт (зазвичай начальник зміни технологічного цеху), передає підготовлене устаткування керівнику ремонту (механіку цеху, майстрові централізованої

служби ремонту і тому подібне) із записом в "Журналі здачі-приймання устаткування в ремонт і з ремонту".

При прийнятті відремонтованого устаткування в експлуатацію, незалежно від виду проведеного ремонту, дотримуються наступного порядку:

- керівник ремонту здає устаткування;
- заступник начальника цеху, енергетик, майстер КВП і А підтверджують готівність устаткування до експлуатації;
- начальник цеху (відділення), а при поточному ремонті зазвичай начальник зміни, приймає устаткування.

Про те, що устаткування прийняте з поточного ремонту робиться запис в "Журналі здачі-приймання устаткування в ремонт і з ремонту".

Капітальний ремонт повинен забезпечувати післяремонтний ресурс не менше 80 % ресурсу нового устаткування (менший післяремонтний ресурс робить проведений ремонт економічно недоцільним). Післяремонтний ресурс призначає організація, що виконала капітальний ремонт. В період проведення капітального ремонту, як правило, виконують роботи по модернізації устаткування і впровадження нової техніки. Для забезпечення необхідної надійності і довговічності окремих видів складного і відповідального устаткування "Система ТОиР" допускає проведення капітального ремонту зменшеного обсягу.

При капітальному ремонті виконуються наступні основні роботи:

- обсяг робіт поточного ремонту;
- заміна або відновлення усіх зношених деталей і вузлів;
- заміна (повна або часткова) футеровки, ізоляції, протикорозійного захисту;
- вивіряння і центрування машин;
- випробування після ремонту.

Для підготовки і проведення капітального ремонту складається наступна документація:

- наказ по підприємству на устаткування, включене в річний графік планово-періодичних ремонтів, якщо устаткування не увійшло до річного графіку, то готується заявка, яка подається в четвертому кварталі року, передування планованому;
- відомість дефектів, в яку можуть бути включені роботи по модернізації устаткування;
- заявка на запасні частини, матеріали;
- кошторис витрат на капітальний ремонт;
- мережеві або лінійні графіки на проведення ремонту устаткування.

При здачі устаткування в капітальний ремонт оформляється акт по встановленій формі, який підписують заступник начальника цеху або особа, призначена начальником цеху і керівник ремонтних робіт. Після капітального ремонту і при позитивних результатах випробувань і обкатки ті ж особи підписують акт на видачу з капітального ремонту устаткування потім механік (майстер) технологічного цеху зобов'язаний зробити запис про проведений ремонт в "Ремонтному журналі" на це устаткування. Одночасно з цим оформляється гарантійний паспорт, в якому термін гарантій має бути не менше нормативних термінів між ремонтами.

#### Загальні технічні умови на ремонт корпусів посудин і апаратів

Технічні умови є керівним документом при ремонті і реконструкції сталевих зварних посудин і апаратів з товщиною стінки від 4 до 120 мм працюючих під тиском до 16 МПа ( $160 \text{ кгс/см}^2$ ) і температурі не нижче мінус  $70^\circ\text{C}$ , і не вище  $540^\circ\text{C}$  на нафтопереробних, нафтохімічних, хімічних і інших вибухопожежонебезпечних виробництвах.

Ремонт корпусів апаратів повинен здійснюватися ремонтними підрозділами підприємств або спеціалізованими організаціями, що мають у

розпорядженні спеціальні технічні кошти і працівників (ІТР і робітники відповідної кваліфікації), що забезпечують якісне виконання робіт відповідно до вимог стандартів і керівних документів Держнаглядохоронпраці України.

Керівні інженерно-технічні працівники і зварювальники, зайняті монтажем і ремонтом посудин, мають бути аттестовані відповідно до «Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку працівників з питань охорони праці», затверджених Держнаглядохоронпраці України.

Зварювальники повинні мати посвідчення встановленої форми і можуть робити зварювальні роботи тих видів, які вказані в їх посвідченні.

Зварювальники, що уперше приступають до зварювання електродами з вмістом нікелю 40% і більше, повинні пройти практичне тренування і зварювання контрольної пластини розмірами 150x250x12; 18 мм, що імітує положення шва в просторі при ремонті, з контролем шляхом зовнішнього огляду і проникаючого випромінювання в об'ємі 100% зварного з'єднання і реєстрацією результатів в протоколі.

До проведення робіт по термічній обробці допускаються аттестовані термісти-оператори що мають посвідчення на право виробництва термічних робіт. Крім того, термісти-оператори повинні здати випробування по електробезпеці не нижче чим на II кваліфікаційну групу, а також по протипожежних заходах до охорони праці. Термісти-оператори піддаються щорічній переатестації, результати, якої мають бути оформлені протоколом і відповідним записом в посвідченні.

Для виконання ремонтного зварювання повинна використовуватися технологія, аттестована відповідно до вимог ДНАОП 0.00-1.07-94 «Правил будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском» [17] і галузевого стандарту СОУ МПП 71.120\_217:2009 «Посудини та апарати сталі зварні. Загальні технічні умови» [56].

Посудини і апарати мають бути підготовлені до ремонту відповідно до чинних нормативних актів Держнаглядохоронпраці України.

Види дефектів, визначення їх меж і вибір способів ремонту

Характерними дефектами корпусів апаратів, що з'являються в процесі експлуатації, є:

- тріщини усіх видів і напрямів в зварних швах, біляшовній зоні і в основному металі;
- корозійне ураження зварних швів і основного металу у вигляді суцільної рівномірної або нерівномірної корозії, локальної корозії (виразки, пітінги і таке інше);
- ерозійний знос;
- гофри, вм'ятини, випини і інші види деформації корпусу;
- розшарування металу.

Вибір способів виправлення дефектних ділянок корпусів апаратів здійснюється з урахуванням:

- виду дефектів (тріщини, корозія, деформація корпусу і тому подібне);
- конструкції корпусу (товщина стінки, наявність приварених внутрішніх пристроїв і таке інше);
- матеріального виконання корпусу;
- економічній доцільності вибраного способу виправлення.

Ремонт корпусів апаратів з урахуванням чинників, викладених вище, робиться трьома способами:

- заварка дефекту або наплавлення дефектної ділянки;
- заміна дефектної ділянки (установки вставок, зміна листа, обичайки, днища, штуцера);
- видалення дефекту. При цьому залишкова товщина стінки повинна забезпечувати міцність і надійність роботи посудини, що повинно бути підтверджено розрахунком.

Контроль зварних з'єднань виконаних в процесі ремонту

Підприємство-виготовлювач, монтажне або ремонтне підприємство повинні застосовувати такі види та обсяги контролю своєї продукції, які б

гарантували виявлення недопустимих дефектів, її високу якість і надійність в експлуатації.

Контроль якості зварювання з'єднань включає:

- а) перевірку атестації персоналу;
- б) перевірку збирально-зварювального, термічного і контрольного устаткування, апаратури, приладів та інструментів;
- в) контроль якості основних матеріалів;
- г) контроль якості зварювальних матеріалів і матеріалів дефектоскопії;
- д) операційний контроль технології зварювання;
- е) неруйнівний контроль якості зварних з'єднань;
- ж) руйнівний контроль якості зварних з'єднань;
- з) контроль виправлення дефектів.

Види контролю визначаються конструкторською організацією відповідно до вимог Правил, НД на вироби і зварювання і вказуються в конструкторській документації посудини.

Для встановлення методів і обсягів контролю зварних з'єднань необхідно визначити групу посудини в залежності від розрахункового тиску, температури стінки і характеристики середовища за табл. 1.1.

У тих випадках, коли в табл. 1.1 відсутні вказані сполучення параметрів за тиском і температурою, для визначення групи посудини необхідно керуватися максимальним параметром.

Температура стінки визначається на підставі теплотехнічного розрахунку або результатів вимірів, а при відсутності даних приймається рівною температурі середовища, яке стикається зі стінкою посудини.

Обсяг контролю повинен бути не менш передбаченого Правилами.

У процесі виготовлення посудин повинні перевірятися:

- 1) відповідність металу у зварюваних деталей і зварювальних матеріалів вимогам НД;
- 2) відповідність якості підготовки кромки і збирання під зварювання

вимогам діючих стандартів і креслень;

3) дотримання технологічного процесу зварювання і термічної обробки, розроблених відповідно до вимог НД.

Основними видами неруйнівного контролю металу і зварних з'єднань є:

- візуальний і вимірювальний;
- радіографічний;
- ультразвуковий;
- радіоскопічний (допускається застосовувати тільки за інструкцією, узгодженою з Держнаглядом праці України);
- стилоскопіювання;
- вимірювання твердості;
- гідравлічні випробування;
- пневматичні випробування.

Крім цього, можуть застосовуватись і інші методи (акустична емісія, магнітографія, кольорова дефектоскопія, визначення наявності в металі шва феритної фази тощо) відповідно до ТУ заводу-виготовлювача в обсязі, передбаченому НД.

При руйнівному контролі повинні проводитися випробування механічних властивостей, металографічні випробування і випробування на стійкість проти міжкристалітної корозії.

Контроль матеріалів і зварних з'єднань неруйнівними і руйнівними методами повинен проводитись підприємствами та організаціями, що мають дозвіл органів Держнаглядпраці на виконання цих робіт.

Приймальний контроль виробу, складальних одиниць і зварних з'єднань повинен виконуватись після закінчення всіх технологічних операцій, пов'язаних з термічною обробкою, деформуванням і наклепкою металу.

Послідовність контролю окремими методами повинна відповідати вимогам НД. Візуальний і вимірювальний контроль, а також стилоскопіювання повинні передувати контролю, іншими методами.

Контроль якості зварних з'єднань повинен проводити за НД, узгодженою з Держнаглядом праці України.

У процесі проведення робіт персоналом підприємства-виконавця робіт (заводу, монтажної або ремонтної організації) повинен здійснюватись операційний контроль технологічних процесів підготовки і складання деталей під зварювання, зварювання і термічної обробки зварних з'єднань, виправлення дефектів зварних з'єднань.

При операційному контролі перевіряється дотримання виконавцями вимог Правил, НД і креслень. Обсяги операційного контролю при підготовці, складанні, зварюванні і термічній обробці та виправленні дефектів мають бути вказані в НД.

Результати по кожному виду контролю і місця контролю (в тому числі і операційного) повинні фіксуватись у звітній документації (журналах, формулярах, протоколах, маршрутних паспортах тощо).

Засоби контролю повинні проходити метрологічну перевірку відповідно до вимог нормативної документації Держстандарту України.

Кожна партія матеріалів для дефектоскопії (пенетранти, порошки, суспензії, радіографічна плівка, хімічні реактиви тощо) до початку їх використання повинна піддаватися вхідному контролю.

Обсяг руйнівного і неруйнівного контролю, передбачений Правилами, може бути зменшений за узгодженням з органами Держнаглядохоронпраці в разі масового виготовлення, у тому числі при незмінному технологічному процесі, спеціалізації зварників на окремих видах і високій якості робіт, підтвердженій результатами контролю за період не менше шість місяців. Копія дозволу вкладається в паспорт посудини.

Методи та обсяги контролю зварних з'єднань приварних деталей, які не працюють під внутрішнім тиском, повинні встановлюватися НД на виріб і зварювання.

Контроль якості поверхонь на відсутність плівок, заходів, розшарувань,

грубих рисок, тріщин, що знижують якість і погіршують товарний вид, повинен проводитися шляхом візуального огляду.

Обов'язкова перевірка наявності, змісту, місць розташування клейм на зварних швах і маркування на готовій посудині (складальних одиницях, що самостійно постачаються, і деталях) повинна здійснюватися візуальним оглядом.

Остаточний контроль якості зварних з'єднань посудин, що піддаються термічній обробці, повинен проводитися після термічної обробки. Повторний контроль якості зварних з'єднань посудин, що підлягають термічній обробці, проводяться в місцях, доступних для проведення радіологічного контролю або ультразвукової дефектоскопії, неруйнівними методами, а в місцях недоступних для їх проведення методами, відповідно до вимог РД 26-11-01. Необхідність і об'єм проведення додаткового контролю радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією після гідралічних випробувань визначаються технічним проектом.

Підприємство-виготівник негабаритних посудин, що транспортуються частинами, замість контрольного складання може виконати контрольну перевірку розмірів частин, що стикаються, за умови, що підприємство-виготівник гарантує збираємість посудини на монтажному майданчику.

Виріб визнається придатним, якщо при контролі в ньому не буде виявлено внутрішніх і зовнішніх дефектів, що виходять за межі допустимих норм, установлених цими Правилами і НД на виріб і зварювання.

Відомості про контроль зварних з'єднань основних елементів посудини повинні заноситись у паспорт посудини.

#### Візуальний і вимірювальний контроль

Візуальному і вимірювальному контролю підлягають всі зварні з'єднання посудин та їх елементів з метою виявлення в них таких дефектів:

- тріщин всіх видів і напрямів;

- свищів і пористості зовнішньої поверхні шва;
- подрізів;
- напливів, пропалів, незаплавлених кратерів;
- зміщень і спільного відведення кромок зварювальних елементів понад норми, передбачені Правилами;
- непрямолінійностей з'єднуваних елементів;
- невідповідності форми і розмірів швів вимогам технічної документації.

Перед візуальним контролем поверхня зварного шва і прилеглі ділянки основного металу, шириною не менше 20 мм (при електрошлаковому зварюванні) в обидва боки від шва, мають бути зачищені від шлаку та інших забруднень.

Візуальний контроль і вимірювання зварних з'єднань повинні проводитись із зовнішнього і внутрішнього боків по всій довжині швів. У разі неможливості контролю зварного з'єднання з двох боків він повинен проводитись у порядку, передбаченому автором проекту.

Розміри і геометрична форма поверхонь повинні вимірюватися способами вимірів, які забезпечують погрішність не більше 10 % від встановленого допуску на виготовлення. Габаритні розміри посудин необхідно вимірювати рулеткою із застосуванням виску і рівня або аналітичним способом, підсумовуючи розміри складальних одиниць і деталей.

## 8 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Ремонтні роботи хімічного обладнання характеризуються підвищеною небезпекою праці робітників, несуть потенційну небезпеку професійних отруєнь і захворювань, травматизму, забруднення довкілля та ін. Тому питанням охорони праці приділяється велика увага, вони спрямовані на забезпечення безпечних та здорових умов праці, безаварійної роботи устаткування, пожежної безпеки, тощо.

Для запобігання аваріям, неполадкам, нещасним випадкам і забезпечення нормальних умов праці необхідно дотримувати норми і вимоги технологічного регламенту, інструкцій по робочих місцях, інструкцій по охороні праці. Небезпечні чинники виробничих процесів:

1 Прорив горючого газу або легкозаймистої рідини через нещільність, що утворилася, в апаратах комунікаціях з подальшим загорянням або вибухом.

2 Утворення вибухонебезпечної газової суміші в апаратах і трубопроводах при попаданні кисню, повітря в систему при незадовільному продуванні комунікацій і апаратів азотом, а також при пропуску газу або пари легкозаймистої рідини в приміщення.

3 Отруєння тих, що працюють при контакті з токсичними речовинами, вживаними у виробничих процесах.

4 Хімічні опіки при попаданні агресивних речовин на шкіру.

5 Термічні опіки при попаданні пари, гарячого конденсату на шкіру, при зіткненні з гарячими поверхнями апаратів або трубопроводів, загорянні газу, що прорвався, або легкозаймистої рідини.

6 Обмороження при зіткненні із зрідженими газами.

7 Поразка електричним струмом при несправності електроустаткування.

8 Механічні травми при обслуговуванні і ремонті устаткування і трубопроводів з порушенням техніки безпеки.

9 Задуха від недоліку кисню при виконанні робіт в кабельних тунелях, колодязях, пріямках.

10 Шкідливі викиди в робочу зону та водоймища.

Ремонтно – монтажні роботи

Виведення в ремонт устаткування (або демонтаж при виключенні з схеми) здійснюється по письмовому розпорядженню начальника цеху. На підставі письмового розпорядження заступник начальника цеху встановлює і підписує порядок виведення устаткування в ремонт або посилається на відповідні розділи інструкції.

У об'єм робіт з підготовки устаткування до ремонту входить:

- зупинка об'єкту (устаткування, машин, комунікацій), відключення системи, замочною арматурою;
- скидання тиску, звільнення об'єкту від продукту, сировини;
- відключення електроенергії, зняття напруги на щитах, вивішування заборонних і попереджувальних плакатів, установка огорожувальних бар'єрів;
- від'єднання ремонтного об'єкту від комунікацій за допомогою заглушок;
- пропарювання, продування, провітрювання об'єкту і відповідне прибирання від продукту і сировини приміщення.

Якість підготовчих робіт визначається виконанням аналізу на вміст паливних, отруйної, вибухонебезпечної пари або газів, яких повинно бути не більш за ГДК по санітарних нормах.

На арматурі, що відсікає ремонтне устаткування від того, що діє, вивішуються таблички, що забороняють її розтин, а арматуру що підлягає ремонту, позначають крейдою або фарбою.

Установка заглушок повинна проводитися силами ремонтної служби цеху, під керівництвом механіка або майстра цієї служби.

При установці заглушок ремонтною службою цеху механік (майстер) несе відповідальність за дотримання ремонтною службою правил техніки безпеки і пожежної безпеки при виконанні цієї роботи і за якість установки заглушок.

Перед проведенням ремонтних робіт, механік або майстер цеху проводить виконавцям інструктаж про порядок ведення робіт, дотриманням правил протипожежної і техніки безпеки, потім допускає до виконання ремонтних робіт по оформленому разом із застосуванням засобів захисту, вказаних в наряді.

Інструктаж робітником підрядних організацій про основні небезпеки і шкідливі виробничі чинники в даному цеху в об'ємі першого інструктажа проводить начальник зміни перед початком робіт.

Весь персонал має бути ознайомлений про місце і час проведення ремонтних робіт сторонньою організацією.

При виникненні пожежі або аварії, а так само в разі порушення технологічного режиму і появи небезпеки для оточуючого персоналу цеху повинен дати вказівку про припинення робіт підрядчиком і видалити їх з цеху або небезпечної зони.

## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розглянуто установку ректифікації суміші ацетон –етиловий спирт продуктивністю 8,25 т/год. з розробкою підігрівача:

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

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576с.
- 2 Справочник химика, т. 5. – М.: Химия, 1968. – 975 с.
- 3 Отраслевой стандарт (Ост 26-01-1488-83).
- 4 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.
- 5 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.
- 6 Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии, 4-е изд. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
- 7 Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу «Процессы и аппараты химической промышленности». – Л.: Химия, 1985. – 54 с.
- 8 Чернышев А.К., Коптелов В.Г., Листов В.В., Заичко Н.Д. Основные теплофизические свойства газов и жидкостей. Номографический справочник. – Кемеровское изд-во, 1971. – 225 с.
- 9 Дытнерский Ю.И. и др. Колонные аппараты. Каталог/ Под ред. Дытнерского Ю.И., 2-е изд-во. – М.: ЦИНИНЕФТЕХИММАШ, 1978. – С. 220.
- Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии, 3-е изд. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
- 10 Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. «Машиностроение», 1978 г. 326 с.
- 11 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые общего назначения. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными

решетками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Каталог. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”. 2001.–.70 с.

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

13 Аппараты теплообменные кожухотрубчатые общего назначения. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с плавающей головкой, кожухотрубчатые с U-образными трубами и трубные пучки к ним. Каталог. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”. 2001.–.89 с.

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

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

16 ТУ 3612-023-00220302-01. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с плавающей головкой, кожухотрубчатые с U-образными трубами и трубные пучки к ним. Технические условия. М.: АООТ “ВНИИнефтемаш”. 2001.–.112 с.

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

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

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

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

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

- 22 О.І. Барвін та ін. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Фланцеві з'єднання. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2007. – 306 с
- 23 А.И. Барвин и др. Расчет выпуклых и плоских днищ и крышек, конических обечаек, днищ и переходов стальных сварных сосудов и аппаратов. Методика и примеры расчета– Северодонецк, СТИ, 2003. – 122 с.