

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії  
Кафедра машинобудування та прикладної механіки

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: Вузол рециркуляції в виробництві карбаміду  
потужністю 400 тис. т/рік  
з розробкою ректифікаційної колони-сепаратора

Студента IV курсу групи ГМ-17дб

спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Мельнічук М. О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник роботи

Карпюк Л.В.

(вчене звання, науковий ступінь,  
прізвище та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри

проф., д.т.н. Соколов В.І.

(вчене звання, науковий ступінь,  
прізвище та ініціали)

(підпис)

Севєродонецьк – 2021

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до бакалаврської роботи містить: сторінок 92, таблиць 5, рисунків 11.

Об'єктом дослідження є вузол рециркуляції в виробництві карбаміду потужністю 400 тис. т/рік з розробкою ректифікаційної колони-сепаратора.

У даній роботі розглядається один з етапів виробництва карбаміду – це процес ректифікації, який проходить в ректифікаційній колоні-сепараторі з підігрівачем.

Було проведено опис схеми, технологічного обладнання, конструкції та принципу дії колони, вибір основних конструкційних матеріалів, розрахунки на міцність, опис технології виготовлення апарату, ремонт та монтаж обладнання. Наведено огляд літератури з перегонки рідини, апаратурного оформлення процесів перегонки рідини та огляд конструкції колонного апарату. Дана стисла характеристика визначених процесів та обладнання (галузь застосування).

Виконано конструкторську документацію роботи з використанням графічного редактора.

Пояснювальна записка містить такі розділи:

- реферат;
- зміст;
- вступ;
- опис технологічного обладнання;
- опис конструкції та принципу дії колони;
- вибір основних конструкційних матеріалів;
- розрахунки на міцність;
- технологія виготовлення апарату;
- ремонт та монтаж;
- висновки
- перелік джерел посилання

Ключові слова: перегонка рідини, колонний апарат, технологічна схема, підігрівач, ректифікація, колони-сепаратор.

**ЗМІСТ**

	Стор.
ВСТУП.....	
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	
2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	
3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ КОЛОНИ.....	
4 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	
5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ.....	
6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ АПАРАТУ.....	
7 РЕМОНТ ТА МОНТАЖ.....	
ВИСНОВКИ.....	
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	

## ВСТУП

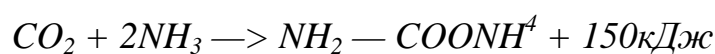
На теперішній час в сільському господарстві використовується досить багато різних видів добрив. Кожен з них має свої особливості застосування, переваги і недоліки. Без внесення мінеральних добрив важко домогтися високих врожаїв культур.

Мінеральні добрива – це солі і інші неорганічні промислові або викопні продукти, що містять елементи, необхідні для розвитку рослин і поліпшення родючості ґрунту, що використовуються з метою отримання високих і стійких урожаїв. Основну масу добрив вносять до ґрунту під посіви. Деякі види добрив використовують і для некореневого живлення рослин.

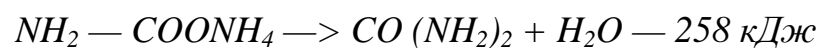
Одним з найбільш затребуваних мінеральних добрив вважається карбамід  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  – найцінніше азотне добриво. Карбамід застосовується також в сільському господарстві в якості підкормки для худоби. У промисловості з нього готують карбамідні смоли, що йдуть на виробництво цінних пластмас, деревостружкових плит, синтетичних клеїв, складів для пропитки тканин і ін.; застосовують у фармацевтичній промисловості, при очищенні нафтопродуктів, приготуванні синтетичного волокна урілона і т.п.

Вихідною сировиною для синтезу карбаміду є рідкий аміак і діоксид вуглецю, що отримується на стадії регенерації поглинального розчину при очищенні конвертованого газу від оксидів вуглецю у виробництві аміаку. Діоксид вуглецю містить 2-2,5% домішок розчинених газів - азоту, водню, метану та ін. Ці домішки не беруть участі в реакції утворення карбаміду і знижують парціальні тиски  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$ , тому їх вміст повинен бути мінімальним.

Синтез карбаміду протікає в дві стадії. У першій стадії відбувається утворення карбаміново-кислого амонію (карбамат):



Потім карбонат дегідратується з утворенням карбаміду:



Сумарно отримання карбаміду це гетерогенний процес в системі «Г - Ж», що протікає в кінетичній області.

У промисловості синтез карбаміду ведуть при + 180 ... 200 ° С, тиску 20 МПа при 100% -му надлишку аміаку. Цей синтез протікає в товстостінній колоні. У дистиляційній колоні від плаву карбаміду відганяються надлишковий аміак і продукти розкладання амонійних солей вугільної кислоти.

Промислові способи виробництва карбаміду відрізняються один від одного не стільки умовами синтезу, скільки методами уловлювання і переробки газів дистиляції, що містять аміак і  $\text{CO}_2$ . Оскільки процес синтезу здійснюється з великим надлишком аміаку, а вихід карбаміду по  $\text{CO}_2$  не перевищує 65-70%, кількість газів дистиляції вельми велика і їх переробка необхідна не тільки з екологічної, але і з економічної точки зору.

З ростом обсягів виробництва карбаміду зростає і кількість стічних вод, які виникають в процесі синтезу, що містять в своєму складі аміак, діоксид вуглецю, карбамід та інші сполуки. Дані речовини негативно впливають на живі організми, забруднюють атмосферу і водойми, що представляє реальну небезпеку для здоров'я населення. Тому зміст їх у навколишньому середовищі суворо нормується. І з кожним роком вимоги до якості стічних вод ростуть.

Карбамід – діамід вугільної кислоти, званий також сечовиною, у чистому вигляді є безбарвними кристалами, що не мають запаху, з щільністю при 25°C 1330 кг/м<sup>3</sup>, плавкі при 132,7°C. Технічний продукт – білі або жовтуваті кристали у формі голкоподібних ромбічних призм.

У порівнянні з різними мінеральними добривами карбамід містить багато азоту (46,2 % азоту). Його можна застосовувати для будь-яких ґрунтів та сільськогосподарських культур. Карбамідний азот безпосередньо входить в структуру білків та вуглеводів.

За нормальними умовами карбамід вибухобезпечний, не токсичний. Він розчинюється в воді, етиловому спирті, аміаку, сірчистому ангідриді.

Насичений водний розчин при 20°C містить 51,14%, при 60°C - 71,1%, при 120°C - 95%. З аміаком карбамід утворює з'єднання що містить 77,9% карбаміду і плавкий інконгруентний при 46°C. З підвищенням температури розчинність карбаміду в рідкому аміаку значно збільшується; вище 30°C вона більша, ніж у воді.

Виробництво карбаміду полягає у взаємодії  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$  при 150-220°C, 7-100 МПа, в дистиляції продуктів синтезу (плава) і в переробці отримуваних розчинів в готовий продукт.

Процес протікає з утворенням двох фаз: газоподібною ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) і рідкою, такою, що складається з розплавлених і розчинених компонентів (аміаку, карбамата амонія, карбаміду) і води. Карбамід утворюється переважно в рідкій фазі, тобто з розплавленого карбамата амонія.

Актуальність теми. Проблема охорони навколишнього середовища та переробки виробничих відходів на сьогоднішній день є особливо актуальною. В нафтопереробній та хімічній промисловості часто в вигляді відходів видаляються групи речовин, які негативно впливають на якість продукції. Обсяг цих речовин порівняно невеликий, але вони можуть являтися сировиною для одержання цінних цільових продуктів. При їх переробці виникає необхідність в їх зберіганні та подальшому транспортуванні.

У даному дипломному проекті піде мова про один з етапів виробництва карбаміду, а точніше про процес ректифікації, який проходить в ректифікаційній колоні-сепараторі з підігрівачем.

## 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Ректифікація - процес поділу гомогенних рідких сумішей, компоненти яких відрізняються температурою кипіння, за рахунок багаторазової або безперервної протivotочної взаємодії нерівноважних рідкої і парової фаз. При цьому рідка фаза збагачується висококиплячим компонентом (ВК) за рахунок його конденсації з парової фази, а парова фаза збагачується низькокиплячим компонентом (НК) за рахунок його випаровування з рідкої фази. При проведенні ректифікації на одному кінці апарату отримують рідину, збагачену ВК (кубовий залишок). На іншому кінці апарату отримують пару, збагачену НК. Конденсуючи пару, отримують рідкий дистилат. При ректифікації може бути досягнуто чітке розділення вихідної суміші на кубовий залишок, що складається практично з одного ВК, і дистилат, що складається практично з одного НК [5].

Отже, процес ректифікації здійснюється шляхом багаторазового контакту між нерівноважними рідкої і парової фазами, що рухаються відносно одна одної.

При взаємодії фаз між ними відбувається масо-і теплообмін обумовлений прагненням системи до стану рівноваги. В результаті кожного контакту компонент перерозподіляється між фазами: пара трохи збагачується низькокиплячим компонентом, рідина - висококиплячим. Багаторазове контактування призводить до практично повного поділу вихідної суміші.

Перегонка - процес розділення гомогенних рідких сумішей, компоненти яких відрізняються температурою кипіння, здійснюваний шляхом часткового випаровування вихідної суміші з подальшою конденсацією. Рідкий продукт, одержуваний з пари (дистилат), збагачений НК. Невипарена рідина (кубовий залишок) збагачена ВК. Перегонка використовується для розділення сумішей за умови значної відмінності температур кипіння їх компонентів.

За способом проведення процесу розрізняють просту і складну перегонку.

Проста перегонка здійснюється поступовим, одноразовим або багаторазовим випаровуванням.

Перегонка з поступовим випаровуванням полягає в поступовому нагріванні продукту від початкової до кінцевої температури з безперервним відведенням і конденсацією парів, що утворюються.

Під час одноразової перегонки рідина нагрівається до заданої температури, пари, що утворилися і досягли рівноваги одноразово відокремлюються від рідкої фази - залишку. Цей спосіб, в порівнянні з перегонкою з поступовим випаровуванням, забезпечує при однакових температурі і тиску велику частку відгону.

Перегонка з багаторазовим випаровуванням полягає в послідовному повторенні процесу одноразової перегонки при більш високих температурах або низькому тиску по відношенню до залишку попереднього процесу.

З процесів складної перегонки розрізняють перегонку з дефлегмацією і перегонку з ректифікацією. При перегонці з дефлегмацією пари, що утворюються, конденсують і частину конденсату у вигляді флегми подають назустріч потоку пари. В результаті однократного контактування парового і рідкого потоків пари, що виходять із системи, додатково збагачуються низькокиплячими компонентами, тим самим дещо підвищується чіткість поділу сумішей.

Перегонка з ректифікацією - найбільш поширений в хімічній і нафтогазовій технології масообмінний процес, який здійснюється в апаратах - ректифікаційних колонах - шляхом багаторазового протivotочного контактування парів і рідини. Контактування потоків пари і рідини може проводитися або безперервно (в насадочних колонах), або поступово (в тарільчастих ректифікаційних колонах).

При взаємодії зустрічних потоків пари і рідини на кожному ступені контактування (тарілці або шарі насадки) між ними відбувається тепло-і



масообмін, обумовлений прагненням системи до стану рівноваги. В результаті кожного контакту компоненти перерозподіляються між фазами: пара декілька збагачується низькокиплячими, а рідина - висококиплячими компонентами. При досить тривалому контакті і високій ефективності контактного пристрою пара і рідина, що йдуть з тарілки або шару насадки, можуть досягти стану рівноваги, тобто температури потоків стануть однаковими і при цьому їх склади будуть пов'язані рівняннями рівноваги. Такий контакт рідини і пара, що завершується досягненням фазової рівноваги, прийнято називати рівноважною ступінню, або теоретичною тарілкою.

Підбираючи число контактних ступенів і параметри процесу (температурний режим, тиск, співвідношення потоків, флегмове число і ін.), можна забезпечити будь-яку необхідну чіткість фракціонування сумішей. Місце введення в колону ректифікації нагрітої сировини, що переганяється, називають живильною секцією (зоною), де здійснюється одноразове випаровування. Частина колони, що розташована вище живильної секції, служить для ректифікації парового потоку і називається концентраційною (зміцнюючою), а інша нижня частина, в якій здійснюється ректифікація рідкого потоку, - відгонною, або вичерпною секцією.

У хімічній, нафтохімічній, нафтопереробній та інших галузях промисловості, а так само в теплоенергетиці, широко поширені і мають важливе значення масообмінні процеси, які характеризуються переходом одного або більше компонентів суміші з однієї фази в іншу. Найбільш часто масообмінні процеси використовують для поділу гомогенних систем. Масообмінні апарати мають велику металоємність і складність конструкції, і характеризуються значним споживанням різних видів енергії (особливо ректифікаційні колони). Від точності розрахунку технологічних установок залежить вартість обладнання, експлуатаційні витрати і, не менше головне, задана ступінь (якість) поділу вихідної суміші.

Колона для проведення масообмінних процесів відноситься до апаратів для проведення масообмінних процесів в системі газ - рідина і може бути використана для ректифікації, абсорбції в газовидобувній галузі, нафтопереробній і нафтохімічній промисловості. Конструкція ректифікаційних апаратів різниться в залежності від способу контакту фаз і організації процесу в цілому. Найбільш простою конструкцією ректифікаційних апаратів є колона, в якій рух рідини від одного ступеня контакту до іншого відбувається під дією сили тяжіння [2].

Колона містить корпус зі штуцерами подачі і відбору газу і рідини, вертикальні насадкові пристрої для масообміну і сепарації, розташовані між горизонтальними перегородками з зазором до корпусу. Попередній інерційний сепаратор розташований по осі колони, навколо нього послідовно розміщені первинний сепаратор, масообмінна секція і кінцевий сепаратор. Верх інерційного сепаратора з'єднаний зі штуцером подачі газу, верх масообмінної секції герметично по газу з'єднаний зі штуцером подачі рідини в колону, низ інерційного і низ первинного сепараторів з'єднані зі збіркою отсепарированої рідини, а низ масообмінних секції і низ кінцевого сепаратора з'єднані зі збіркою проконтактірованої рідини. Усередині попереднього інерційного сепаратора, стінка якого виконана з жалюзійних пластин, відігнутих по зовнішній поверхні назустріч руху газу, розташований конусоподібний порожнистий витіснювач, нижня частина якого з'єднана зі збіркою отсепарированої рідини, а верхня забезпечена інжекційними каналами. Дана колона дозволяє збільшити ефективність масообміну за рахунок раціонального використання її робочого об'єму.

Розрізняють прості і складні колони.

Прості колони забезпечують поділ вихідної суміші (сировини) на два продукти: ректифікат (дистилят), що виводиться з верху колони в пароподібному стані, і залишок - нижній рідкий продукт ректифікації.

Складні ректифікаційні колони розділяють вихідну суміш більш ніж на два продукти. Існують складні колони з відбором додаткових фракцій

безпосередньо з колони у вигляді бічних погонів і колони, у яких додаткові продукти відбирають зі спеціальних відпарних колон, іменованих стріппінгами.

У ректифікаційній колоні від розчину карбаміду відділяється надлишковий аміак. У підігрівачі за рахунок нагріву відбувається додаткове виділення надлишкового аміаку і розкладання карбамату амонію. Парорідинна суміш розділяється в сепараторі, газова фаза повертається в колону ректифікації, а рідка дроселюється і проходить дистиляцію другого ступеня.

## 2 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 2.1 Обґрунтування вибраного методу виробництва і устаткування

Виробництво карбаміду засноване на реакції взаємодії аміаку з діоксидом вуглецю. Реакція протікає при температурі 160 - 185°C і тиску 13,3 - 14,2 МПа.

Рівновага екзотермічної реакції утворення карбамата зрушена управо підвищеним тиском і надлишком аміаку. Реакція перетворення карбамата в карбамід - ендотермічна, в цілому ж процес перетворення  $NH_3$  і  $CO_2$  в карбамід - екзотермічний, тобто йде з виділенням тепла. Це дозволяє використовувати тепло, що утворилося, при підігріванні розчину карбаміду на різних стадіях виробництва, зокрема при рециркуляції в підігрівачі колони ректифікації – сепараторі.

Характерною особливістю даної технології є застосування стріпінг – процесу для дистиляції плава під тиском синтезу.

При оптимальному веденні технологічного режиму ступінь конверсії  $CO_2$  в карбамід складає не менше 54%.

На стадії рециркуляції використовується колона ректифікації. Вона складається з сепаратора і масообмінного апарату. Масообмінна, верхня частина колони ректифікації, заповнена металевими кільцями Паля. У нижній частині колони встановлений підігрівач (кожухотрубчастий теплообмінник).

Позитивним чинником є те, що газова фаза з температурою не більше 155°C після сепаратора поступає через клапан в середню частину колони (під насадку) ректифікації, що дозволяє використовувати тепло газів для масообмінного процесу.

## 2.2 Опис технологічної схеми виробництва

Ректифікаційна колона-сепаратор відноситься до вузла рециркуляції.

Вузол рециркуляції призначений для розкладання що знаходиться в розчині, що виходить з системи синтезу, карбамата амонія на  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$ , відгону з розчину карбаміду  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  і води, і повернення їх у вузол синтезу у вигляді розчину углеаммонийних солей (карбамата).

Розчин, що виходить із стрипера, дрoсeлює клапаном до тиску не більше 2,1 МПа, і поступає до сепаратора середнього тиску E201. При цьому тиску і температурі не більш  $155^\circ\text{C}$ , в сепараторові з розчину виділяються газоподібні  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ . Газова фаза з температурою не більш  $155^\circ\text{C}$ , після сепаратора поступає через клапан в конденсатор і в середню частину ректифікаційної колони S303 (під насадку), що дозволяє використовувати тепло газів для масообмінного процесу. Розчин карбаміду з сепаратора з температурою не більш  $155^\circ\text{C}$ , через регулюючий клапан прямує у верхню частину ректифікаційної колони.

У колоні газорідинна суміш з сепаратора форсункою рівномірно розподіляється по насадці і стікає вниз, протитечією, через насадку, від низу до верху рухається газова фаза з сепаратора і продукти розкладання карбамата з сепаратора після підігрівача рециркуляції E302. У шарі насадки відбувається масообмін рухомих назустріч один одному потоків. Розчин карбаміду, минувши шар насадки, потрапляє на «глуху» тарілку і по переливній лінії поступає в підігрівач E302, де нагрівається парою до температури  $130 - 140^\circ\text{C}$ . На вході розчину карбаміду в підігрівач E302, на його нижній трубній дошці, встановлена знімна розподільна тарілка з отворами діаметром 4 мм, сприяюча більш рівномірному розподілу розчину по трубках. Температура розчину карбаміду підтримується аналоговим регулювальником з відеотерміналу робочої станції АСУТП. У підігрівачі відбувається остаточне розкладання карбамата на  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$ . З підігрівача

розчин карбаміду поступає до сепаратора колони S303, в якому газова фаза, -  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ , пари води та інерти відділяються від розчину карбаміду (Рис . 2.1).

Розчин, з масовою часткою карбаміду - не менше 64%, поступає через регулюючий клапан рівня в підігрівач E302 і далі у вакуум-випарник S304. У випарнику з розчину карбаміду додатково відганяється вода,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ . Сокова пара з випарника поступає на конденсацію в конденсатор E701, а розчин карбаміду з температурою 85 - 98°C, відводиться в гідрозасув збірки розчину карбаміду V302.

Для забезпечення стабільності тиску у вузлі рециркуляції і зниження корозії устаткування в лінію газів дистиляції на вході в E303 подається повітря через дросельну шайбу з ресервірів.

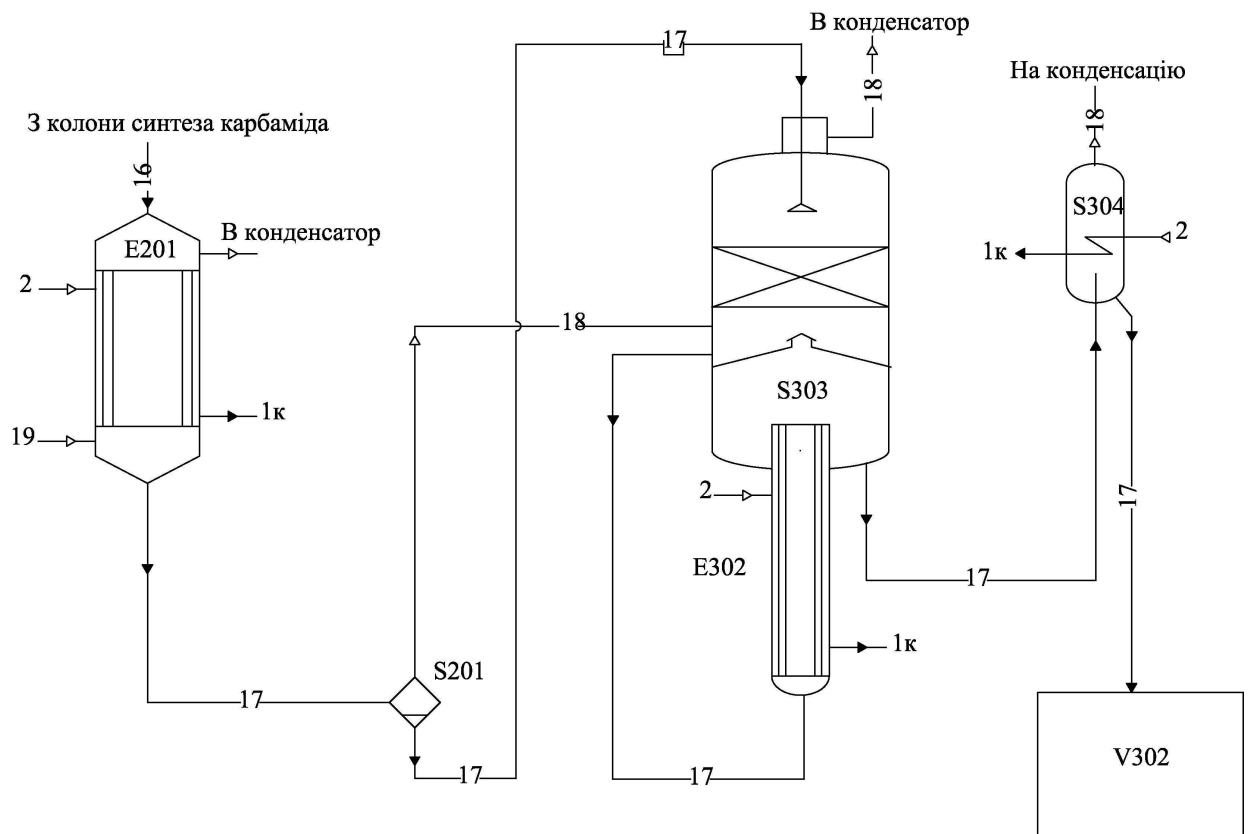


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва

### 2.3 Характеристика сировини, напівпродуктів та готового продукту

Характеристики сировини, напівпродуктів та готового продукту наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Таблиця характеристик сировини, напівпродуктів та готового продукту

Найменування сировини, напівпродуктів та готової продукції	Показники, обов'язкові для перевірки	Показники з допустимими відхиленнями
1	2	3
<b>Сировина та напівпродукти</b>		
Аміак рідкий технічний марки Б	Масова доля аміака Масова доля води Масова концентрація масла Масова концентрація заліза Температура Тиск	не менш 99,6% не більш 0,4%  не більш 8 мг/дм <sup>3</sup>  не більш 2 мг/дм <sup>3</sup> від -34 до +26°C 1,45-1,85 МПа
Вуглекислий газ	Об'ємна доля діоксида вуглецю Об'ємна доля кисню Сумарна об'ємна доля горючих з'єднань (Н <sub>2</sub> + вуглеводороди) Температура Тиск	не менш 98% не більш 0,3%  не більш 0,05% 30- 45°C 1 - 4 кПа
Карбамідоформальдегідна смола (КФС)	Масова доля карбаміда Масова доля формальдегіда	20 – 24%  54 - 60%
Пар високого тиску	Тиск Температура Масова концентрація хлоридів в конденсаті пара	2,7 – 3,2 МПа 350-440°C  не більш 0,2мг/дм <sup>3</sup>

Кінець таблиці 1

1	2	3
Пар середнього тиску	Тиск Температура	1,1 – 1,3 МПа 20 – 315°C
Вода оборотна	Тиск Температура рН Масова концентрація хлоридів	0,36 – 0,5 МПа не більш 28°C 7,0 – 8,5 не більш 80 мг/дм <sup>3</sup>
Азот газоподібний	Тиск Об'ємна доля кисня	0,12 – 0,5 МПа не більш 3%
Повітря технологічне	Тиск	не менш 0,4 МПа
<b>Готовий продукт</b>		
Карбамід	Масова доля азоту Масова доля біурету Масова доля води	не менш 46% не більш 0,9% не більш 0,25%

#### 2.4 Матеріальний баланс колони

За рік колона працює 8000 годин (ефективний фонд робочого часу не змінюється).

Досягнута потужність на діючому виробництві – 280 тис т/рік.

Потужність на проектованому виробництві – 336 тис. т/рік.

Індекс зміни продуктивності складе  $336/280 = 1,2$ .

На рисунку 2.2 показано, що в колону надходить потік 208, виходить потік 305 і 314. Потік 313 циркулює з колони в підігрівач і навпаки. У колоні рухається потік 302, який виходить з сепаратора, потоки 303 і 312, які протитечією рухаються по насадці і потік 304, який виходить зверху насадки.



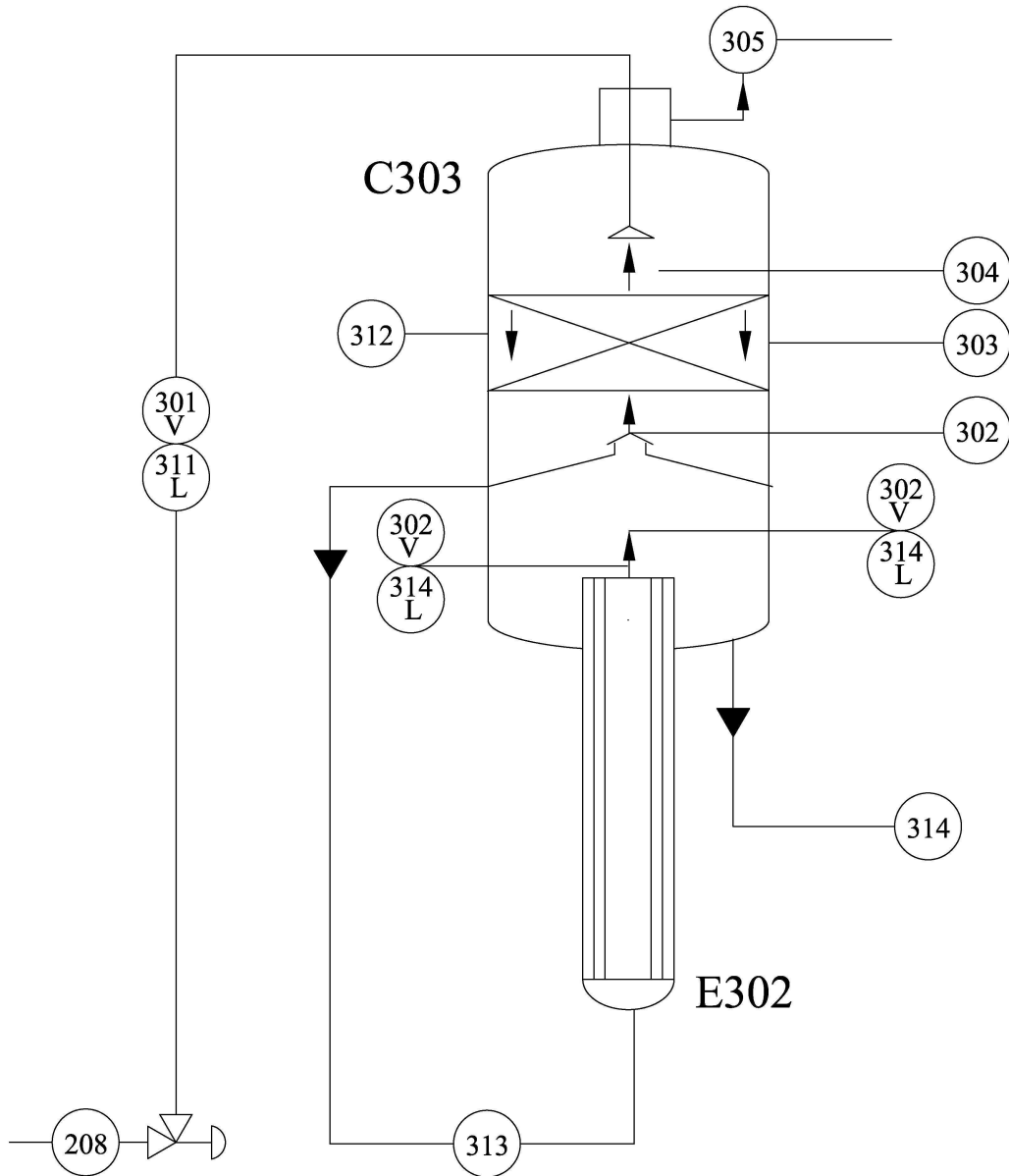


Рисунок 2.2 - Ректифікаційна колона-сепаратор

В таблиці 2 показана концентрація потоків на виробництві.

Таблиця 2 - Таблиця потоків на діючому виробництві (на 1 т виробленої продукції):

Потік	208		305		313		314		302	
	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%
Карбамід	39137	50	-	-	42575	59,09	40515	64	-	-
CO <sub>2</sub>	6610	11	7485	50	2211	3,07	509	0,6	1892	21,66
NH <sub>3</sub>	7044	9	5244	35,03	3002	4,17	1012	1,6	2215	25,35
H <sub>2</sub> O	23482	30	2240	14,97	24255	33,67	21270	33,8	4530	52,99

Оскільки концентрації в потоках проектового виробництва не міняються, то збільшуємо продуктивність потоків проектового виробництва на 20% і заносимо набуті значення в таблицю 3.

Таблиця 3 - Таблиця потоків на виробництві, що проектується

Потік	208		305		313		314		302	
	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%	кг/ч	%
Карбамід	47433	50	-	-	51600	59,09	49103	64	-	-
CO <sub>2</sub>	10435	11	9072	50	2681	3,07	460	0,6	2293	21,66
NH <sub>3</sub>	8538	9	6356	35,03	3641	4,17	1227	1,6	2684	25,35
H <sub>2</sub> O	28460	30	2716	14,97	29402	33,67	25932	33,8	5610	52,99

Підсумовуємо витрату рідини і газів в потоці, що приходить, і в тому, що виходить. Отримані дані заносимо в таблицю 4.

Таблиця 4. Таблиця про прихід і витрату

Прихід		Витрата	
Речовина	кг/ч	Речовина	кг/ч
Карбамід	47433	Карбамід	49103
CO <sub>2</sub>	10435	CO <sub>2</sub>	9532
NH <sub>3</sub>	8538	NH <sub>3</sub>	7583
H <sub>2</sub> O	28460	H <sub>2</sub> O	28648
Разом	94866	Разом	94866

Як бачимо матеріальний баланс виконується.

## 2.5 Технологічний розрахунок ректифікаційної колони-сепаратора

### Діаметр колони

Згідно даним матеріального балансу в середині колони проходить 4 потоки: 302, 303, 304 і 312. В усіх потоках, окрім 312, присутня лише газова фаза. У потоці 304 найбільша витрата, тобто діаметр колони розраховуємо по цьому потоку.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}}; \quad (2.1)$$

де  $G$  – витрата,  $\omega$  – швидкість потоку;  $\rho$  – щільність газової фази.

Оскільки швидкість та щільність потоку залишаються незмінними для колони що проектується, можна записати формулу діаметра для діючої колони ( $d_0 = 1600$  мм) та для колони, що розробляється.

Діаметр діючої колони:

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_0}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}};$$

Діаметр колони що розробляється:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \omega \cdot \rho}};$$

Розділимо  $d_1$  на  $d_0$ :

$$\frac{d_1}{d_0} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_1}{\pi \cdot \omega \cdot \rho} \cdot \frac{\pi \cdot \omega \cdot \rho}{4 \cdot G_0}} = \sqrt{\frac{G_1}{G_0}};$$

З цього рівняння знаходимо  $d_1$ :

$$d_1 = d_0 \sqrt{\frac{G_1}{G_0}};$$

Аналогічним чином, як і у матеріальному балансі, знаходимо витрату для виробництва що проектується. За даними діючого виробництва карбаміду  $G_0 = 9019$  кг/год, тоді  $G_1 = 9019 \times 1,2 = 10931$  кг/год

$$d_1 = 1600 \sqrt{\frac{10931}{9019}} = 1761,45 \text{ мм};$$

Приймаємо  $d_1 = 1800$  мм.

Висота колони

Загальну висоту колони знаходимо за рівнянням:

$$H = N_T(\text{ВЕТС});$$

де  $N_T$  – число теоретичних ступенів; ВЕТС – висота еквівалентної теоретичної ступені, яке визначається за опитними даними чи з емпіричних рівнянь; наприклад для газорідинних насадкових колон використовується рівняння:

$$\text{ВЕТС} = 70 \left( \frac{\rho_y \cdot \omega_y}{d_H \cdot \mu_x} \right)^{-0.5},$$

де  $\rho_y$  – густина газоподібної фази;  $\omega_y$  – швидкість газоподібної фази;  $d_H$  – розмір насадки;  $\mu_x$  – в'язкість рідкої фази.

Густина та швидкість газоподібної фази, розмір насадки та в'язкість рідкої фази для колони, що проектується залишаються незмінними, тому ВЕТС залишається таким як і в діючої колони.

Число теоретичних ступенів також є величиною незмінною. Відповідно до цього, висота колони, що проектується буде такою, як і у діючої колони  $H=7550$  мм.

## 2.6 Тепловий баланс

Рівняння теплового балансу для ректифікаційної колони:

$$Q_{313} + Q_{\text{пар}} = Q_{314} + Q_{302} + Q_{\text{конд}} + Q_{\text{втрат}}; \quad (2.2)$$

де  $Q_{313}$  – кількість тепла плаву карбаміду, який надходить до підігрівача;

$Q_{\text{пар}}$  – кількість тепла пару, який надходить до між трубного простору підігрівача;

$Q_{314}$  – кількість тепла плаву карбаміду, який виходить з колони;

$Q_{302}$  – кількість тепла суміші газів, які виходять з сепаратора;

$Q_{\text{конд}}$  – кількість тепла конденсату пару;

$Q_{\text{втрат}}$  – кількість тепла втрат;

$$Q_{\text{втрат}} = 5\% \cdot (Q_{\text{пар}} - Q_{\text{конд}});$$

$$Q_{\text{пар}} - Q_{\text{конд}} = Q_{\text{підвод}};$$

$$Q_{\text{пар}} - Q_{\text{конд}} - Q_{\text{втрат}} = Q_{314} + Q_{302} - Q_{313}$$

$$0,95Q_{\text{підвод}}=Q_{314}+Q_{302}-Q_{313};$$

$$Q_{\text{підвод}} = \frac{Q_{314} + Q_{302} - Q_{313}}{0,95};$$

Тепло розраховується за формулою

$$Q=Gct;$$

де  $G$  – витрата потоку, кг/с;

$c$  – теплоємність речовини потоку, кДж/кг·К;

$t$  – температура потоку, °С;

Витрати:

- $G_{302}=2,94$  кг/с;
- $G_{314}=21,3$  кг/с;
- $G_{313}=24,25$  кг/с;

ТЕПЛОЄМНОСТІ:

- карбаміду  $c=2,1$  кДж/кг·К;
- вуглекислоти  $c=0,838$  кДж/кг·К;
- аміаку  $c=2,22$  кДж/кг·К;
- води  $c=4,2$  кДж/кг·К;

температури:

- $t_{302}=140^{\circ}\text{C}$ ;
- $t_{314}=140^{\circ}\text{C}$ ;
- $t_{313}=125^{\circ}\text{C}$ ;

$$Q_{302}=2,94 \cdot 2,97 \cdot 140=1222,452 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

$$c_{302}=0,838 \cdot 0,2166+2,22 \cdot 0,2535+4,2 \cdot 0,5299=2,97 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

$$Q_{314}=21,3 \cdot 2,8 \cdot 140=8349,6 \text{ кДж/с};$$

$$c_{314}=2,1 \cdot 0,64+2,22 \cdot 0,016+0,838 \cdot 0,006+4,2 \cdot 0,338=2,8 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

$$Q_{313}=24,25 \cdot 2,77 \cdot 125=8396,6 \text{ кДж/с};$$

$$c_{313}=2,1 \cdot 0,5909+2,22 \cdot 0,0417+0,838 \cdot 0,0307+4,2 \cdot 0,3367=2,77 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К};$$

$$Q_{\text{підвод}} = \frac{(8349,6 + 1222,452 - 8396,6)}{0,95} = 1237,3 \text{ (кДж/с)};$$

Маємо:

$$Q = K \cdot \Delta t_{cp} \cdot F \rightarrow F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}; \quad (2.3)$$

де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі ( $K=5,6$  Вт/м<sup>2</sup>·К);  $F$  - площа теплообміну;  $Q=Q_{\text{подвод}}$ .

$$F = \frac{1237,3 \cdot 1000}{17,5 \cdot 140} = 505 \text{ м}^2$$

За каталогом вибираємо теплообмінник з площею теплообміну рівною  $F=524,7$  м<sup>2</sup>, діаметром  $D=1200$  мм, довжиною теплообмінних труб  $l=6000$  мм.

На рисунку 2.3 наведена схема теплового балансу.

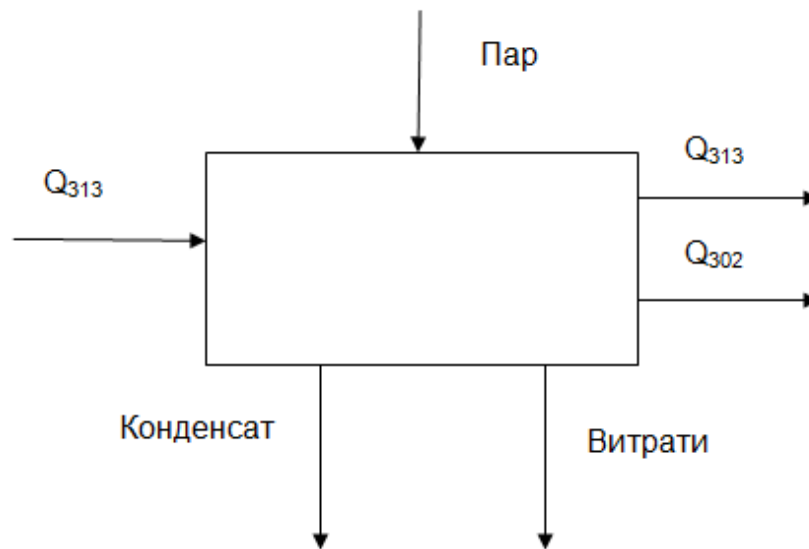


Рисунок 2.3 - Схема теплового балансу

## 2.7 Гідравлічний розрахунок

Гідравлічний опір насадки  $\Delta P$  знаходять за рівнянням:

$$\Delta P = 10^{169U} \Delta P_C$$

Гідравлічний опір сухої незрошуваної насадки  $\Delta P_C$  розраховують за рівнянням:

$$\Delta P_C = \lambda \frac{H}{d_E} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho_y}{2 \varepsilon^2}; \quad (2.4)$$

де  $\lambda$  - коефіцієнт опору сухої насадки, залежний від режиму руху газу в насадці;

$H=1500$  мм – висота шару насадки;

$d_E=0,005$  мм – еквівалентний діаметр насадки;

$\omega=1,02$  м/с - швидкість потоку;

$\rho=2,73$  кг/м<sup>3</sup> – густина потоку;

$\varepsilon=0,785$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> – вільний об'єм;

Критерій Рейнольдса для газу у колоні рівний:

$$Re_{yB} = \frac{\omega_B d_E \rho_{yB}}{\varepsilon \mu_{yB}} = \frac{1,02 \cdot 0,0050 \cdot 2,73}{0,785 \cdot 0,0091 \cdot 10^{-3}} = 19500;$$

де  $\mu_y=0,0091 \cdot 10^{-3}$  Па·с – в'язкість потоку;

Отже, режим руху турбулентний.

Для турбулентного режиму коефіцієнт опору сухої насадки у вигляді безладних засипаних кілець Паля знаходять за рівнянням:

$$\lambda = 16/Re_y^{0,2} = 16/19500^{0,2} = 2,22;$$

Гідравлічний опір сухої насадки у колоні рівний:

$$\Delta P_{CB} = 2,22 \frac{1,5}{0,05} \cdot \frac{1,02^2 \cdot 2,73}{2 \cdot 0,785^2} = 154 \text{ Па};$$

Щільність зрошування колоні визначимо за формулою:

$$U_B = L_B / (\rho_x 0,785 d^2);$$

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$U_e = 3,84 / (796 \cdot 0,785 \cdot 1,6^2) = 0,0024 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с});$$

Гідравлічний опір зрошуваної насадки колоні:

$$\Delta P_B = 10^{169 \cdot 0,0024} 154 = 392 \text{ Па};$$

### 3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ КОЛОНИ

Ректифікаційна колона-сепаратор відноситься до вузла рециркуляції, який призначений для розкладання карбамата амонія, що знаходиться в розчині, який виходить з системи синтезу, на  $\text{NH}_3$  та  $\text{CO}_2$ , відгону з розчину карбаміду  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  і води, і повернення їх у вузол синтезу у вигляді розчину вуглеамонійних солей (карбамата).

Колона ректифікації складається з сепаратора і масообмінного апарату (Рис. 3.1). Масообмінна, верхня частина колони ректифікації, заповнена металевими кільцями Паля.

Газова фаза з температурою не більш  $155^\circ\text{C}$  після сепаратора S201 поступає через клапан в середню частину колони ректифікації S303 (під насадку), що дозволяє використовувати тепло газів для масообмінного процесу. Розчин карбаміду з температурою не більш  $155^\circ\text{C}$  через регулюючий клапан прямує у верхню частину колони, де форсункою рівномірно розподіляється по насадці і стікає вниз, протитечією, через насадку, знизу - вгору рухається газова фаза і продукти розкладання карбамата після підігрівача рециркуляції E 302. У шарі насадки відбувається масообмін рухомих назустріч один одному потоків. Розчин карбаміду, минувши шар насадки, потрапляє на «глуху» тарілку і по переливній лінії поступає в підігрівач E 302, де нагрівається пором до температури  $130 - 140^\circ\text{C}$ . На вході розчину карбаміду в підігрівач E302, на його нижній трубній дошці, встановлена знімна розподільна тарілка з отворами діаметром 4 мм, сприяюча більш рівномірному розподілу розчину по трубках. У підігрівачі E302 відбувається остаточне розкладання карбамата на  $\text{NH}_3$  і  $\text{CO}_2$ . З підігрівача розчин карбаміду поступає в сепаратора колони, в якому газова фаза, –  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ , пари води та інерти відділяються від розчину карбаміду.

З колони розчин, з масовою часткою карбаміду - не менше 64%, поступає через регулюючий клапан рівня в підігрівач E302A і далі у вакуум-випарник S304, де з розчину карбаміду додатково відгоняється вода,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ .

Тиск у вузлі рециркуляції і колоні підтримується з відеотерміналу робочої станції, аналоговим регулятором в межах 0,15 - 0,25 МПа.



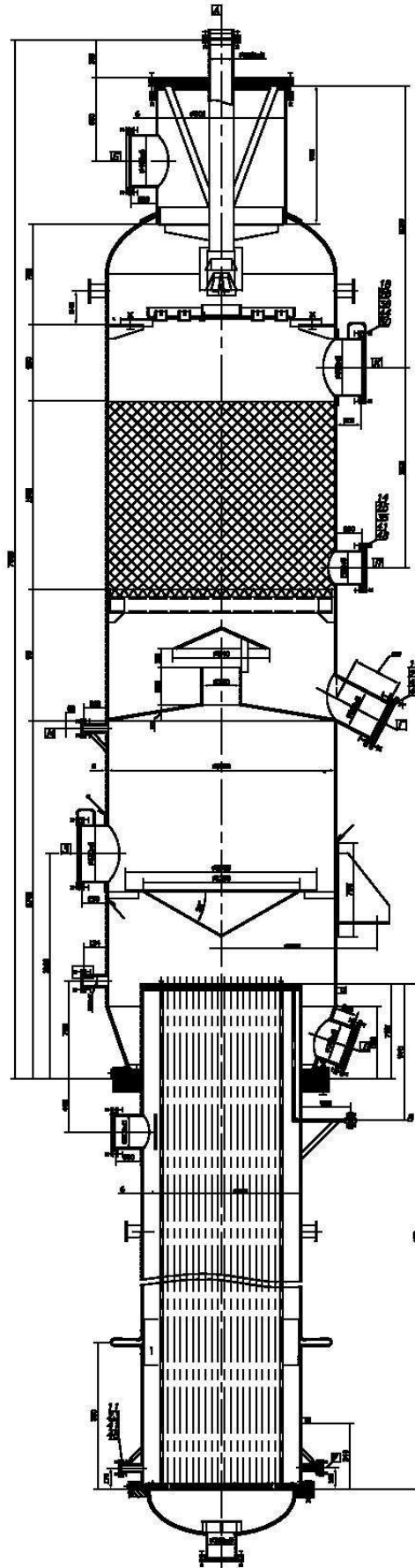


Рисунок 3.1 - Ректифікаційна колона-сепаратор

#### **4 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Матеріали для виготовлення корпусу апарату вибираються з урахуванням властивостей робочого середовища в апараті, тиску та температури. Для вибухонебезпечних, пожежонебезпечних, шкідливого серед 4 класу небезпеки при умовному тиску в апараті 0,25 МПа і робочій температурі 155°C для виготовлення корпусу апарату прийнята сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 380-94.

Матеріал апаратного фланця – 12Х18Н10МТ ГОСТ 8733-74.

Матеріал труб для виготовлення патрубків штуцерів – 12Х18Н10Т ГОСТ 8733-74.

Матеріал трубопровідних фланців – 12Х18Н10Т ГОСТ 8733-74.

Матеріал кріпильних виробів (болтів) для фланців з нержавіючої сталі - сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 7798, для гайок – 12Х18Н10Т ГОСТ 5915.

Матеріал прокладок - пароніт ПОН 2,0 ГОСТ 481-80.

Матеріал опорних лап та цапф для строповки - сталь СтЗсп5 ГОСТ 380-94.

## 5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ

Початкові дані:

Матеріал колони – сталь 12Х18Н10Т;

Діаметр колони  $D=1800$  мм;

Розрахункова температура  $t=155^{\circ}\text{C}$ ;

Робочий тиск  $P=0,25$  МПа;

Коефіцієнт міцності зварного шва приймаємо  $\varphi = 1$ ;

Група посудини – 1;

Допустиме напруження для сталі 12ХН18Н10:

$[\sigma]_{20} = 184$  МПа;

$[\sigma]_{155} = 167,2$  МПа;

Розрахунковий робочий тиск.

Тиск спрацьовування запобіжного клапана.

$$P_k = 1,15 \cdot P_{\text{роб}}; \quad (5.1)$$

де  $P_{\text{роб}}$  – робочий тиск;

$$P_k = 1,15 \cdot 0,25 = 0,29 \text{ МПа};$$

Тиск без врахування гідростатичного:

$$P_{pl} = 0,9 \cdot P_k = 0,9 \cdot 0,29 = 0,261 \text{ МПа};$$

Приймаємо  $P_{pl} = 0,261 \text{ МПа}$ ;

Надбавки до розрахункової товщини конструктивних елементів.

Надбавка на корозію:

$$C_1 = C_1' + C_1''$$

де  $C_1'$  - надбавка з боку робочої середи

$C_1''$  – надбавка для мінусового допуску

$$C_1' = \Pi \cdot \tau = 0,05 \cdot 20 = 1 \text{ мм}$$

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

$\tau$  – термін служби апарату;

$C_1''$  – визначається після визначення товщини стінки.

## 5.1 Розрахунок циліндричної частини корпусу

### 5.1.1 Розрахунок товщини стінки обичайки від внутрішнього тиску

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} \quad (5.2)$$

де  $P$  – розрахунковий внутрішній надлишковий тиск, МПа;

$D$  – внутрішній діаметр обичайки, мм.

$$S_p = \frac{0,261 \cdot 1800}{2 \cdot 167,2 \cdot 1 - 0,261} = 1,4 \text{ мм.}$$

Надбавка для компенсації корозії робочої середовища складе:

$$C_I = C_I' + C_I'' = 1 + 0,22 = 1,22 \text{ мм.}$$

Виконавчу товщину стінки обичайки  $S$  визначаємо по формулі

$$S > S_p + C = 1,4 + 1,22 = 2,62 \text{ мм.}$$

Набуваємо стандартного значення  $S = 6$  мм.

### 5.1.2 Визначення тиску, що допускається

Тиск, що допускається, з умови міцності визначається за формулою

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p (S - C)}{D + (S - C)}; \quad (5.3)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 167,2 \cdot 1 \cdot (6 - 1,22)}{1800 + (6 - 1,22)} = 0,88 \text{ МПа}$$

Умова міцності

$$P = 0,261 < [P] = 0,88 \text{ МПа}$$

виконується.

### 5.1.3 Перевіряємо умову застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{6 - 1,22}{1800} = 0,0026 < 0,1$$

Умова виконується.

## 5.2 Розрахунок верхнього еліптичного днища корпусу

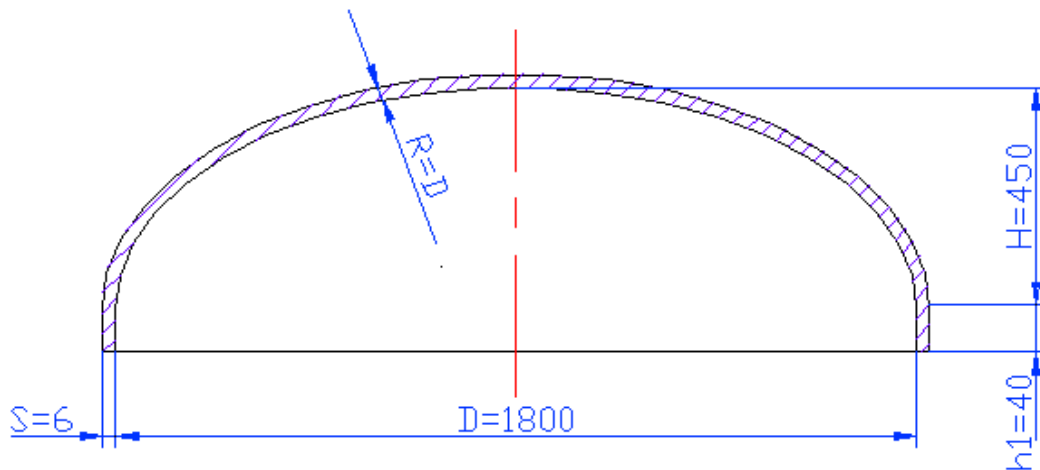


Рисунок 5.1 - Верхнє еліптичне днище

### 5.2.1 Розрахунок товщини стінки днища від внутрішнього тиску.

Розрахункова товщина стінки днища від внутрішнього тиску:

$$S_p = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5P} \quad (5.4)$$

де  $R=D$  для стандартних еліптичних днищ;

$$S_p = \frac{0,261 \cdot 1800}{2 \cdot 167,2 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,261} = 1,4 \text{ мм,}$$

Виконавча товщина стінок днища:

$$S = 1,4 + 1,22 = 2,62 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне  $S = 6$  мм.

### 5.2.2 Внутрішній надлишковий тиск, що допускається

$$[P] = \frac{2 \cdot (S_1 - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{R + 0,5(S_1 - C)}$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 167,2 \cdot 1 \cdot (6 - 1,22)}{1800 + 0,5 \cdot (6 - 1,22)} = 0,89 \text{ МПа}$$

Умова міцності:

$$P = 0,261 < [P] = 0,89 \text{ МПа} - \text{виконується.}$$

### 5.2.3 Перевіряємо умову застосування розрахункових формул

$$\frac{S - C}{D} = \frac{6 - 1,22}{1800} = 0,0026 < 0,1$$

### 5.3 Розрахунок нижнього конічного днища

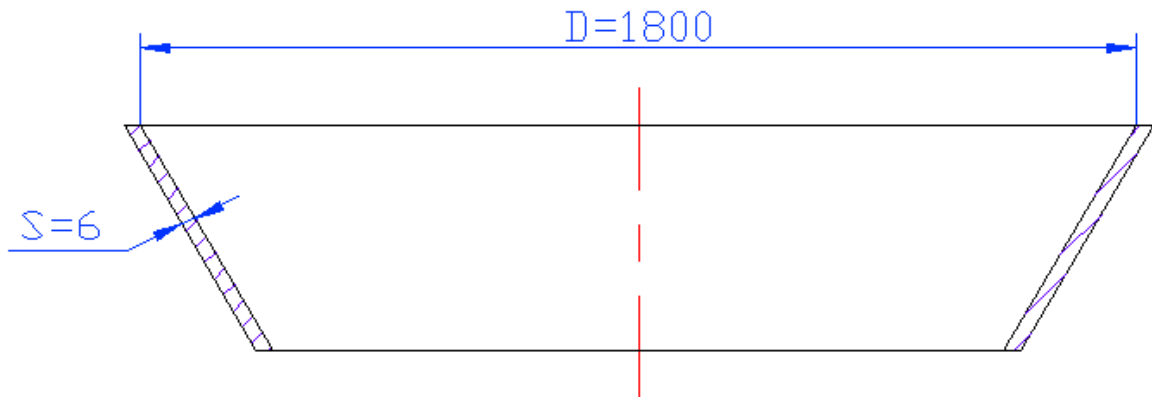


Рисунок 5.2 - Нижнє конічне днище

Розрахункова товщина стінки днища від внутрішнього тиску:

$$S_{кр} = \frac{P \cdot D_K}{2 \cdot \varphi_p \cdot [\sigma] - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}; \quad (5.5)$$

де  $\varphi_p = \sqrt{\varphi}$ ;

$$D_K = D - 2 \cdot [r(1 - \cos \alpha) + 0,7 \cdot a_1 \cdot \sin \alpha];$$

$$a_1 = 0,7 \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha} \cdot (S_T - C)}; \quad S_T = S = 6 \text{ мм};$$

$$a_1 = 0,7 \sqrt{\frac{1800}{\cos 45} \cdot (6 - 1,22)} = 78,3;$$

$$D_K = 1800 - 2 \cdot [200(1 - \cos 45) + 0,7 \cdot 78,3 \cdot \sin 45] = 1605 \text{ мм};$$

$$S_{кр} = \frac{0,261 \cdot 1605}{2 \cdot 1 \cdot 167,2 - 0,261} \cdot \frac{1}{\cos 45} = 1,77 \text{ мм};$$

Виконавча товщина стінок днища:

$$S_k = 1,77 + 1,22 = 2,99 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне  $S_k = 6 \text{ мм}$ .

Внутрішній надлишковий тиск, що допускається

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_k - C)}{\frac{D_k}{\cos \alpha} + (S_k - C)};$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 167,2 \cdot 1 \cdot (6 - 1,22)}{\frac{1605}{\cos 45} + (6 - 1,22)} = 0,7 \text{ МПа};$$

З'єднання обичайки і конічного днища.

$$\beta = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{D}{S_T - C}} \cdot \frac{\text{tg} \alpha}{1 + \sqrt{\frac{1}{\cos \alpha}}} - 0,25;$$

$$\beta = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{1800}{6 - 1,22}} \cdot \frac{\text{tg} 45}{1 + \sqrt{\frac{1}{\cos 45}}} - 0,25 = 3,29;$$

$$\beta_T = \frac{1}{1 + \frac{0,028 \cdot \frac{r}{D} \cdot \sqrt{\frac{D}{S_T - C}} \cdot \alpha}{\frac{1}{\sqrt{\cos \alpha}} + 1}} = \frac{1}{1 + \frac{0,028 \cdot \frac{200}{1800} \cdot \sqrt{\frac{1800}{6 - 1,22}} \cdot 45}{\frac{1}{\sqrt{\cos 45}} + 1}} = 0,47;$$

$$\beta_3 = \max\{0,5; \beta \cdot \beta_T\} = \max\{0,5; 2,9 \cdot 0,47\} = 1,54;$$

$$[P] = \frac{2[\sigma] \varphi_p \cdot (S_T - C)}{D \cdot \beta_3 + (S_T - C)} = \frac{2 \cdot 167,2 \cdot 1 \cdot (6 - 1,22)}{1800 \cdot 1,54 + (6 - 1,22)} = 0,57 \text{ МПа};$$

Умова міцності:

$$P = 0,261 < [P] = 0,57 \text{ МПа} \quad - \text{виконується.}$$

#### 5.4 Розрахунок зміцнення отворів

Перевірятьимемо наступні елементи:

1. Штуцер виходу газу Б;
2. Штуцер виходу розчину карбаміду Г і Д;
3. Робочий лаз З і К;

4. Люк Л;
5. Штуцер виміру тиску М;
6. Штуцер виміру рівня Н;
7. Штуцер вводу плаву карбаміду та виводу газів;

Розрахунок діаметру одиночного отвору, що не вимагає зміцнення.

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{S - C}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)}, \quad (5.6)$$

де  $S_p = 1,4$  – розрахункова товщина стінки укріплюваного елемента.

$$D_p = D = 1800 \text{ мм};$$

$$d_0 = 2 \left( \frac{6 - 1,22}{1,4} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1800(6 - 1,22)} = 485 \text{ мм.}$$

#### 5.4.1 Штуцер виходу газу Б

Розрахунковий діаметр штуцера

$$d_p = d + 2 \cdot C_s$$

де  $C_s$  – надбавки до розрахункової товщини стінки штуцера

Приймаємо трубу  $\text{Ø}426 \times 6$

Внутрішній діаметр штуцера

$$d = d_H - 2 \cdot S_1$$

де  $d_H$  - зовнішній діаметр штуцера, мм;

$S_1$  – товщина стінки штуцера.

$$d = 426 - 2 \cdot 5 = 416 \text{ мм.}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки штуцера визначаємо за формулою:

$$C_s = C_{s1} + C_{s2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}$$

де  $C_{s1} = 1$  – надбавка для компенсації корозії;

$C_{s2}$  – надбавка для компенсації мінусового допуску, мм

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

$$C_{s2} = 0,15 \cdot S_1 = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ мм.}$$



$$d_p = 416 + 2 \cdot 1,8 = 419,6 \text{ мм.}$$

Умова  $d_p < d_0 = 485 \text{ мм}$ , виконується, отже, отвір не вимагає зміцнення.

#### 5.4.2 Штуцер виходу розчину карбаміду Г і Д

Розрахунковий діаметр штуцера

$$d_p = d + 2 \cdot C_s \quad (5.7)$$

Приймаємо трубу  $\text{Ø}324 \times 5$

Внутрішній діаметр штуцера

$$d = d_H - 2 \cdot S_1$$

де  $d_H$  - зовнішній діаметр штуцера, мм;

$S_1$  – товщина стінки штуцера.

$$d = 324 - 2 \cdot 5 = 314 \text{ мм.}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки штуцера визначаємо за формулою:

$$C_s = C_{s1} + C_{s2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр штуцера

$$d_p = 314 + 2 \cdot 1,8 = 317,6 \text{ мм.}$$

Умова  $d_p < d_0 = 485 \text{ мм}$ , виконується, отже, отвір не вимагає зміцнення.

#### 5.4.3 Люк Л

Розрахунковий діаметр отвору:

$$d_p = d + 2 \cdot C_s;$$

Приймаємо трубу  $\text{Ø}250 \times 5$

Внутрішній діаметр труби:

$$d = d_H - 2 \cdot S_1$$

де  $d_H$  - зовнішній діаметр труби, мм;

$S_1$  – товщина стінки труби.

$$d = 250 - 2 \cdot 5 = 240 \text{ мм}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки труби визначаємо за формулою:

$$C_s = C_{s1} + C_{s2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр труби

$$d_p = 240 + 2 \cdot 1,8 = 243,6 \text{ мм.}$$

Умова  $d_p < d_0 = 485 \text{ мм}$ , виконується, отже, отвір не вимагає зміцнення.

#### 5.4.4 Штуцер виміру тиску М

Розрахунковий діаметр отвору:

$$d_p = d + 2 \cdot C_s;$$

Приймаємо трубу  $\text{Ø}57 \times 3$

Внутрішній діаметр труби:

$$d = d_H - 2 \cdot S_1$$

де  $d_H$  - зовнішній діаметр труби, мм;

$S_1$  – товщина стінки труби.

$$d = 57 - 2 \cdot 3 = 51 \text{ мм}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки труби визначаємо по формулі :

$$C_s = C_{s1} + C_{s2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр труби

$$d_p = 51 + 2 \cdot 1,8 = 54,6 \text{ мм.}$$

Умова  $d_p < d_0 = 485 \text{ мм}$ , виконується, отже, отвір не вимагає зміцнення.

#### 5.4.5 Штуцер виміру рівня Н

Розрахунковий діаметр отвору:

$$d_p = d + 2 \cdot C_s;$$

Приймаємо трубу  $\text{Ø}100 \times 5$

Внутрішній діаметр труби:

$$d = d_H - 2 \cdot S_1$$

де  $d_H$  - зовнішній діаметр труби, мм;

$S_1$  – товщина стінки труби.

$$d = 100 - 2 \cdot 5 = 90 \text{ мм}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки труби визначаємо за формулою:

$$C_S = C_{S1} + C_{S2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр труби

$$d_p = 90 + 2 \cdot 1,8 = 93,6 \text{ мм.}$$

Умова  $d_p < d_0 = 485 \text{ мм}$ , виконується, отже, отвір не вимагає зміцнення.

#### 5.4.6 Робочий лаз З, К

Розрахунковий діаметр отвору:

$$d_p = d + 2 \cdot C_S;$$

Приймаємо трубу  $\text{Ø}600 \times 6$

Внутрішній діаметр труби:

$$d = d_H - 2 \cdot S_1$$

де  $d_H$  - зовнішній діаметр труби, мм;

$S_1$  – товщина стінки труби.

$$d = 600 - 2 \cdot 6 = 588 \text{ мм}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки труби визначаємо за формулою:

$$C_S = C_{S1} + C_{S2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр труби

$$d_p = 588 + 2 \cdot 1,8 = 591,6 \text{ мм.}$$

Умова  $d_p < d_0 = 485 \text{ мм}$ , не виконується, отже, отвір вимагає зміцнення.

Виконуємо зміцнення люка.

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \geq A;$$

Розрахункова товщина стінки робочого лазу:

$$S_{1p} = \frac{P(d + 2 \cdot C_s)}{2[\sigma]\varphi - P} = \frac{0,261(600 + 2 \cdot 1,8)}{2 \cdot 167,2 \cdot 1 - 0,261} = 0,47 \text{ мм};$$

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25\sqrt{(d + 2C_s) \cdot (S_1 - C_s)} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 200; 1,25\sqrt{(600 + 2 \cdot 1,8) \cdot (6 - 1,8)} \right\} = 63 \text{ мм};$$

$\alpha_1=1$ ;  $[\sigma]_1=[\sigma]=167,2 \text{ МПа}$ ;

$$A_1 = l_{1p}(S_1 - S_{1p} - c_s) \cdot \alpha_1 = 63(6 - 0,47 - 1,8) \cdot 1 = 281,242 \text{ мм}^2;$$

Припускаємо, що  $A_2=0$  та  $A_3=0$ ;

Надлишковий метал по обичайці:

$$A_4 = l_p(S - S_p - c) = 87(6 - 1,4 - 1,8) = 243,6 \text{ мм}^2;$$

$$\text{де } l_p = L_0 = \sqrt{D_p(S - c)} = \sqrt{1800(6 - 1,8)} = 87 \text{ мм};$$

$$A = 0,5(d_p - d_{0p})S_p = 0,5(591,6 - 34,8) \cdot 1,4 = 278,4 \text{ мм}^2;$$

$$\text{де } d_{0p} = 0,4\sqrt{D_p(S - c)} = 0,4 \cdot L_0 = 0,4 \cdot 87 = 34,8 \text{ мм};$$

$$281,242 + 243,6 = 524,842 > 278,4$$

Умова виконується

Приймаємо схему з укріплювальним кільцем:

$$A - (A_1 - A_4) = A_{2min};$$

$$578,4 - (281,242 - 243,6) = 540,76 \text{ мм}^2;$$

Приймаємо  $S_2=6 \text{ мм}$ ;

Перевіряємо допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (S - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (S - c) \cdot V} \cdot V; \quad (5.8)$$

де  $K_1=1$ ;

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}(S_1 - c_s)x_1 + l_{2p} \cdot S_2 \cdot x_2 + l_{3p}(S_1 - c_s - c_{s1})x_3}{l_p \cdot (S - c)}}{1 + 0,5 \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{63(6 - 1,8) \cdot 1 + 0 + 0}{87 \cdot (6 - 1,8)}}{1 + 0,5 \frac{591,6 - 34,8}{87} + 1 \cdot \frac{600 + 2 \cdot 1,8}{1800} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{63}{87}} \right\} = 0,4;$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 1 \cdot (6 - 1,8) \cdot 1 \cdot 167,2}{1800 + (6 - 1,8) \cdot 0,4} \cdot 0,4 = 0,3 \text{ МПа};$$

Умова  $P=0,261 < [P]=0,3 \text{ МПа}$  – виконується.

#### 5.4.7 Штуцер вводу плаву карбаміду та виводу газів

Розрахунковий діаметр отвору:

$$d_p = d + 2 \cdot C_s;$$

Приймаємо трубу  $\text{Ø}800 \times 6$

Внутрішній діаметр труби:

$$d = d_n - 2 \cdot S_1$$

де  $d_n$  - зовнішній діаметр труби, мм;

$S_1$  – товщина стінки труби.

$$d = 800 - 2 \cdot 6 = 788 \text{ мм}$$

Суму надбавки до розрахункової товщини стінки труби визначаємо за формулою:

$$C_s = C_{s1} + C_{s2} = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр труби

$$d_p = 788 + 2 \cdot 1,8 = 791,6 \text{ мм.}$$

Умова  $d_p < d_0 = 485 \text{ мм}$ , не виконується, отже, отвір вимагає зміцнення.

Виконуємо зміцнення люка.

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 \geq A;$$

Розрахункова товщина стінки робочого лазу:

$$S_{1p} = \frac{P(d + 2 \cdot C_s)}{2[\sigma]\varphi - P} = \frac{0,261(800 + 2 \cdot 1,8)}{2 \cdot 167,2 \cdot 1 - 0,261} = 0,63 \text{ мм};$$

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1; 1,25 \sqrt{(d + 2C_s) \cdot (S_1 - C_s)} \right\} = \\ = \min \left\{ 200; 1,25 \sqrt{(800 + 2 \cdot 1,8) \cdot (6 - 1,8)} \right\} = 72,6 \text{ мм};$$

$\alpha_1 = 1$ ;  $[\sigma]_1 = [\sigma] = 167,2 \text{ МПа}$ ;

$$A_1 = l_{1p} (S_1 - S_{1p} - C_s) \cdot \alpha_1 = 72,6(6 - 0,63 - 1,8) \cdot 1 = 259,2 \text{ мм}^2;$$

Припускаємо, що  $A_2 = 0$  та  $A_3 = 0$ ;

Надлишковий метал по обичайці:

$$A_4 = l_p (S - S_p - c) = 87(6 - 1,4 - 1,8) = 243,6 \text{ мм}^2;$$

$$\text{де } l_p = L_0 = \sqrt{D_p(S - c)} = \sqrt{1800(6 - 1,8)} = 87 \text{ мм};$$

$$A = 0,5(d_p - d_{0p})S_p = 0,5(591,6 - 34,8) \cdot 1,4 = 389,76 \text{ мм}^2;$$

$$\text{де } d_{0p} = 0,4\sqrt{D_p(S - c)} = 0,4 \cdot L_0 = 0,4 \cdot 87 = 34,8 \text{ мм};$$

$$259,2 + 243,6 = 502,8 > 389,76$$

Умова виконується

Приймаємо схему з укріплювальним кільцем:

$$A - (A_1 - A_4) = A_{2\min};$$

$$389,76 - (259,2 - 243,6) = 374,16 \text{ мм}^2;$$

Приймаємо  $S_2 = 6 \text{ мм}$ ;

Перевіряємо допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot K_1 \cdot (S - c) \cdot \varphi \cdot [\sigma]}{D_p + (S - c) \cdot V} \cdot V;$$

де  $K_1 = 1$ ;

$$V = \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{l_{1p}(S_1 - c_s)x_1 + l_{2p} \cdot S_2 \cdot x_2 + l_{3p}(S_1 - c_s - c_{s1})x_1}{l_p \cdot (S - c)}}{1 + 0,5 \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K_1 \cdot \frac{d + 2c_s}{D_p} \cdot \frac{\varphi}{\varphi_1} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 1; \frac{1 + \frac{72,6(6 - 1,8) \cdot 1 + 0 + 0}{87 \cdot (6 - 1,8)}}{1 + 0,5 \frac{791,6 - 34,8}{87} + 1 \frac{800 + 2 \cdot 1,8}{1800} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{72,6}{87}} \right\} = 0,32;$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 1 \cdot (6 - 1,8) \cdot 1 \cdot 167,2}{1800 + (6 - 1,8) \cdot 0,32} \cdot 0,32 = 0,267 \text{ МПа};$$

Умова  $P = 0,261 < [P] = 0,267 \text{ МПа}$  – виконується.

### 5.5 Розрахунок фланцевого з'єднання апарату

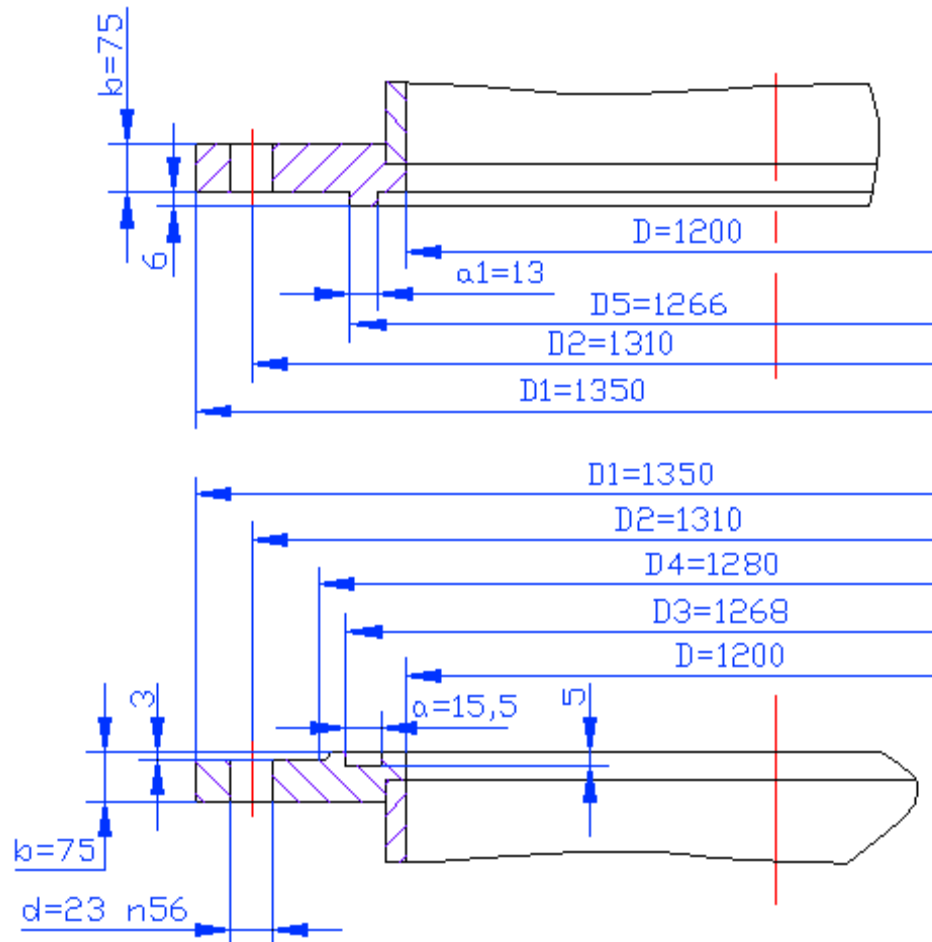


Рисунок 5.3 - Фланцеве з'єднання типу «шип-паз»

По ГОСТ 28759.2 – 90 вибираємо фланцеве з'єднання типу «шип-паз».

Визначення розрахункових параметрів.

Початкові данні:

Тип поверхні ущільнювача : шип – паз.

Матеріал фланців – сталь 12ХН18Н10.

Матеріал прокладки – пароніт.

Матеріал кріплення за рекомендаціями ГОСТ–28759.5–90: 12ХН18Н10.

Температура :

- фланця:

$$t_{\Phi} = t = 155^{\circ}\text{C};$$

- болтів:

$$t_b = 0,97 t = 150,35^{\circ}\text{C}.$$

Допустиме напруження для болтів:

$$[\sigma]_{150,35} = 168 \text{ МПа};$$

Мінімальне значення для матеріалу обичайки апарату:

$$[\sigma]_{155} = 167,2 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа}$$

Мінімальне значення межі текучості для сталі 12ХН18Н10 при розрахунковій температурі  $t = 155 \text{ }^\circ\text{C}$  приймаємо рівним

$$R_e = 218,6 \text{ МПа}$$

$$\text{При } t = 20^\circ\text{C } R_e = 240 \text{ МПа}$$

Мінімальне значення тимчасового опору при  $t = 155 \text{ }^\circ\text{C}$   $R_m = 472,3 \text{ МПа}$

При температурі  $t = 20^\circ\text{C}$   $R_m = 540 \text{ МПа}$

Визначаємо допустиму напругу для матеріалу фланця в перетині  $S_0$

– за робочих умов :

$$[\sigma]_{S_0} = \left( 4,5 - 2,0 \cdot \frac{R_e}{R_m} \right) \cdot [\sigma] = \left( 4,5 - 2 \cdot \frac{218,6}{472,3} \right) \cdot 167,2 = 597,6 \text{ МПа};$$

– в умовах затягування фланцевого з'єднання:

$$[\sigma]_{S_0}^{20} = \left( 4,5 - 2,0 \cdot \frac{R_{p0.2}}{R_m} \right) \cdot [\sigma]^{20} = \left( 4,5 - 2 \cdot \frac{218,6}{472,3} \right) \cdot 184 = 657,7 \text{ МПа};$$

– в умовах випробувань:

$$[\sigma]_{S_0}^e = \left( 6,0 - 2,7 \cdot \frac{R_{p0.2}^{20}}{R_m^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20} = \left( 6,0 - 2,7 \cdot \frac{218,6}{472,3} \right) \cdot 184 = 874 \text{ МПа};$$

Розрахунок допоміжних величин.

Ефективна ширина плоскої прокладки

$$b_n = \frac{D_H - D_B}{2} = \frac{1350 - 1266}{2} = 42 \text{ мм} .$$

$$b_0 = b_n = 42 \text{ мм},$$

де  $b_n$  – виконавча товщина прокладки

Середній діаметр прокладки

$$D_{CP} = \frac{D_H + D_B}{2} = \frac{1350 + 1266}{2} = 1308 \text{ мм};$$

Лінійна податливість прокладки



$$y_n = \frac{h_n \cdot K}{\pi \cdot E_n \cdot D_{CP} \cdot b_n}, \text{ мм/Н}$$

де  $h_n=2$  мм – товщина прокладки;

$E_n = 0,02 \cdot 10^5$  МПа – умовний модуль стискуванні прокладки;

$D_{CP}$  – середній діаметр прокладки, мм.

$D_0=0,9$  – для плоских з пароніта, завтовшки не більше 2 мм.

$$y_n = \frac{2 \cdot 0,9}{3,14 \cdot 0,02 \cdot 10^5 \cdot 1308 \cdot 42} = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

$l_{\sigma 0}$  - відстань між опорними поверхнями гайки і голівки болта.

$$l_{\sigma 0} = h_{\phi} + h_{xp} + h_{np} = 72 + 69 + 2 = 143 \text{ мм};$$

$$l_{\sigma} = l_{\sigma 0} + 0,28 \cdot d = 143 + 0,28 \cdot 23 = 149,44 \text{ мм};$$

$$f_{\sigma} = 324 \text{ мм}^2;$$

$$E_{\sigma}^{20} = 199 \cdot 10^3 \text{ МПа};$$

Податливість болтів визначається по формулі:

$$y_{\sigma} = \frac{l_{\sigma}}{E_{\sigma}^{20} \cdot f_{\sigma} \cdot n} = \frac{149,44}{199 \cdot 10^3 \cdot 324 \cdot 56} = 4,1 \cdot 10^{-8}, \text{ мм/Н.}$$

Еквівалентна товщина приварного фланця приймаємо рівній товщині обичайки в перетині:

$$S_{\sigma} = S = 6 \text{ мм.}$$

Значення коефіцієнтів обчислюємо по формулах:

$$\lambda_1 = \frac{h_1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{81}{\sqrt{1200 \cdot 6}} = 0,95;$$

$$\lambda_2 = \frac{h_2}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{78}{\sqrt{1200 \cdot 6}} = 0,92;$$

$$\psi_{1,2} = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{D_H}{D}\right) = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{1350}{1200}\right) = 0,065;$$

$$\psi_2 = \frac{D_H + D}{D_H - D} = \frac{1350 + 1200}{1350 - 1200} = 17;$$

$$j_1 = \frac{h_1}{S_0} = \frac{81}{6} = 13,5;$$

$$j_2 = \frac{h_2}{S_0} = \frac{78}{6} = 13;$$

$$\omega_1 = \frac{1}{1 + 0,9\lambda_1 \cdot (1 + \psi_1 \cdot j_1^2)} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,95 \cdot (1 + 0,065 \cdot 13,5^2)} = 0,083;$$

$$\omega_2 = \frac{1}{1 + 0,9\lambda_2 \cdot (1 + \psi_2 \cdot j_2^2)} = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,92 \cdot (1 + 0,065 \cdot 13^2)} = 0,09;$$

Кутова податливість фланця визначуваний за формулами:

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - \omega_1(1 + 0,9\lambda_1)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h_1^3} = \frac{[1 - 0,083(1 + 0,9 \cdot 0,95)] \cdot 17}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 69^3} = 2,2 \cdot 10^{-10} \frac{1}{H \cdot мм};$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - \omega_2(1 + 0,9\lambda_2)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h_2^3} = \frac{[1 - 0,09(1 + 0,9 \cdot 0,92)] \cdot 17}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 72^3} = 1,9 \cdot 10^{-10} \frac{1}{H \cdot мм};$$

Плечі моментів сил:

$$b = 0,5(D_6 - D_{СП}) = 0,5(1350 - 1308) = 21 мм;$$

$$e = 0,5(D_{СП} - D - S) = 0,5(1308 - 1200 - 6) = 51 мм;$$

$$\eta = y_n + y_B + (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot b^2 =$$

$$= 0,5 \cdot 10^{-8} + 4,1 \cdot 10^{-8} + (2,2 \cdot 10^{-10} + 1,9 \cdot 10^{-10}) \cdot 21^2 = 22,7 \cdot 10^{-8};$$

$$J = 1 - \frac{y_n - (y_{\phi 1} \cdot e + y_{\phi 2} \cdot e) \cdot b}{\eta};$$

$$J = 1 - \frac{0,5 \cdot 10^{-8} - (2,2 \cdot 10^{-10} \cdot 51 + 1,9 \cdot 10^{-10} \cdot 51) \cdot 21}{22,7 \cdot 10^{-8}} = 1,9;$$

Розрахунок навантажень

Рівнодіюча внутрішнього надлишкового тиску

$$Q_0 = 0,785 \cdot D_{СП}^2 \cdot P,$$

де P – розрахунковий внутрішній надлишковий тиск, МПа.

$$Q_0 = 0,785 \cdot 1308^2 \cdot 0,261 = 3505304 H$$

Реакція прокладки в робочих умовах

$$R_{II} = \pi \cdot D_{СП} \cdot b_0 \cdot m \cdot P,$$

де m=2,5 – коефіцієнт питомого тиску на прокладку;

$$R_{II} = 3,14 \cdot 1308 \cdot 42 \cdot 2,5 \cdot 0,261 = 112555,6 H$$

Навантаження, що виникає від температурних деформацій фланцевого з'єднання, Н.

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} \cdot (\alpha_\phi \cdot h \cdot t_\phi + \alpha_T \cdot h_T \cdot t_\phi - \alpha_\sigma \cdot l_{\sigma 0} \cdot t_\sigma),$$

де  $\alpha_\phi, \alpha_{KP}, \alpha_\sigma$  – коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно болтів, теплообмінника, фланця,  $1/^\circ\text{C}$ .

$$\alpha_\sigma = 13,36 \cdot 10^{-6}; \alpha_T = \alpha_\phi = 12,05 \cdot 10^{-6};$$

$$\eta_1 = y_{II} + y_\sigma \frac{E_\sigma}{E_\sigma^{20}} + \left( y_\phi \frac{E_{KP}}{E_{KP}^{20}} + y_{KP} \frac{E_{KP}}{E_{KP}^{20}} \right) \cdot b^2$$

$$\eta_1 = 0,5 \cdot 10^{-8} + 4,1 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,82 \cdot 10^5} + \left( 2,2 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,82 \cdot 10^5} + 1,9 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{1,99 \cdot 10^5}{1,82 \cdot 10^5} \right) 21^2 = 24,8 \cdot 10^{-8}$$

$$Q_t = \frac{1}{6,97 \cdot 10^{-8}} \left( 12,05 \cdot 10^{-6} \cdot 69 \cdot (155 - 20) + 12,05 \cdot 10^{-6} \cdot 72 \cdot (155 - 20) - \right. \\ \left. - 13,36 \cdot 10^{-6} \cdot 143 \cdot (150,35 - 20) \right) = -2820562 \text{ Н};$$

Болтове навантаження в умовах монтажу.

$$P = \max \{ P_{\sigma 1}; P_{\sigma 2}; P_{\sigma 3} \},$$

де  $P_{\sigma 1}$  – болтове навантаження від спільної дії внутрішнього надлишкового тиску середи, осьової сили і моменту, що вигинає.

$P_{\sigma 2}$  – болтове навантаження, необхідне для того, що початкового зім'яло прокладки.

$P_{\sigma 3}$  – болтове навантаження з умови забезпечення міцності болтів.

$$P_{\sigma 1} = J \cdot Q_d + R_{II} - Q_t$$

$$P_{\sigma 1} = 19 \cdot 35053,4 + 11255,5 - (-28205,6) = 106061,96 \text{ Н}$$

$$P_{\sigma 2} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{СП} \cdot b_0 \cdot q_{обж},$$

де  $q_{обж}$  – коефіцієнт обтискання прокладки;  $q_{обж} = 20$ .

$$P_{\sigma 2} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1308 \cdot 42 \cdot 20 = 1724990,4 \text{ Н}$$

$$P_{\sigma 3} = 0,4 \cdot [\sigma]_{20} \cdot n \cdot f_\sigma,$$

де  $[\sigma]_{20}$  – напруга, що допускається, для болтів в умовах монтажу.

$$P_{\sigma 3} = 0,4 \cdot 184 \cdot 56 \cdot 324 = 13353984 \text{ Н}.$$

$$P_{\delta} = \max \{P_{\delta 1}; P_{\delta 2}; P_{\delta 3}\} = P_{\delta 2} = 1724990,4 \text{ Н}$$

Умова міцності болтів в умовах монтажу

$$[\sigma]_{\delta 1} = \frac{P_{\delta}}{n \cdot f_{\delta}} = \frac{1724990,4}{56 \cdot 324} = 95 < [\sigma]_{\delta}^{20} = 184 \text{ МПа}$$

У робочих умовах

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{P_{\delta} + \Delta P_{\delta}}{n \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma]_{\delta} = 150,35 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_{\delta} = (1 - J) \cdot Q_{\delta} + Q_{\delta} ;$$

$$\Delta P_{\delta} = (1 - 1,9) \cdot 3505304 + (-2820562) = -597533,56 \text{ Н}$$

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{1724990,4 - 597533,56}{56 \cdot 324} = 62 \leq [\sigma]_{\delta} = 150,35 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

Розрахунок прокладки

Умова міцності м'якої прокладки

$$q = \frac{P_{\delta}}{\pi \cdot D_{СП} \cdot b_n} \leq [q] = 130 \text{ МПа}$$

$$q = \frac{1724990,4}{3,14 \cdot 1308 \cdot 42} = 10 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа}.$$

Розрахунок фланця на міцність.

Кут повороту фланця при затягуванні з'єднання:

$$Q = M_{o1} \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9\lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3},$$

де  $M_{o1} = P_{\delta} \cdot b = 1724990,4 \cdot 21 = 3,6 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}$  – момент, що виникає, від болтового навантаження.

$$Q_1 = 3,6 \cdot 10^7 \cdot \frac{[1 - 0,083 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,95)] \cdot 17}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 69^3} = 0,008 \text{ рад.}$$

$$Q_2 = 3,6 \cdot 10^7 \cdot \frac{[1 - 0,09 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,92)] \cdot 17}{1,99 \cdot 10^5 \cdot 72^3} = 0,007 \text{ рад.}$$

Приріст кута повороту фланця в робочих умовах:

$$\Delta Q = \Delta M_{o1} \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9\lambda)] \cdot \psi_2}{E \cdot h^3},$$

де  $\Delta M_{o1} = \Delta P_{\sigma} \cdot b + (Q_D) \cdot e = -597533,56 \cdot 21 + 350530,4 \cdot 51 = 5328845,64$

Н·мм

$$\Delta Q_1 = 5328845,64 \cdot \frac{[1 - 0,083 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,95)] \cdot 17}{187 \cdot 10^3 \cdot 69^3} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$$

$$\Delta Q_2 = 5328845,64 \cdot \frac{[1 - 0,09 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,92)] \cdot 17}{187 \cdot 10^3 \cdot 72^3} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$$

Максимальна напруга вигину в перетині товщиною  $S_1$ :

$$[\sigma]_1 = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{o1}}{D \cdot (S_0 - C)^2},$$

$$\text{де } T = \frac{(D_H / D)^2 \cdot [1 + 8,55 \lg \cdot (D_H / D)] - 1}{[1,05 + 1,945 \cdot (D_H / D)^2] \cdot [(D_H / D) - 1]};$$

$$T = \frac{(1350/1200)^2 \cdot [1 + 8,55 \cdot \lg(1350/1200)] - 1}{[1,05 + 1,945 \cdot (1350/1200)^2] \cdot [(1350/1200) - 1]} = 1,19$$

Максимальна напруга, що вигинає, в перетині  $S_0$  втулки фланця  $\sigma''_e$

$$\sigma''_{e1} = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{o1}}{D(S_0 - C)^2} = \frac{1,19 \cdot 0,083 \cdot 3,6 \cdot 10^7}{1200(6 - 1,8)^2} = 266,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma''_{e2} = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{o1}}{D(S_0 - C)^2} = \frac{1,19 \cdot 0,09 \cdot 3,6 \cdot 10^7}{1200(6 - 1,8)^2} = 182,1 \text{ МПа}$$

Меридіальне напруження в циліндричній обичайці при затягуванні фланцевого з'єднання:

- на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{21} = \sigma''_e = 266,7 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні

$$-\sigma_{22} = -\sigma''_e = -266,7 \text{ МПа}$$

Приріст меридіональної напруги в робочих умовах від дії зовнішніх навантажень і моменту, що вигинає:

$$\Delta\sigma''_M = \frac{Q_D}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - C)} = \frac{3505304}{3,14 \cdot 1200 \cdot (6 - 1,8)} = 22,1 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma''_{e1} = \frac{T \cdot \omega \cdot \Delta M_{o1}}{D \cdot (S_1 - C)^2} = \frac{1,19 \cdot 0,083 \cdot 5328845,64}{1200 \cdot (6 - 1,8)^2} = 25 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma''_{e1} = \frac{T \cdot \omega \cdot \Delta M_{o1}}{D \cdot (S_1 - C)^2} = \frac{1,19 \cdot 0,09 \cdot 5328845,64}{1200 \cdot (6 - 1,8)^2} = 27 \text{ МПа}$$

Приріст меридіональної напруги в робочих умовах:

На зовнішній поверхні обичайки

$$\Delta\sigma_{22} = \Delta\sigma''_M + \Delta\sigma''_e = 22,1 + 27 = 49,1 \text{ МПа}$$

На внутрішній поверхні фланця

$$\Delta\sigma_{22} = \Delta\sigma''_M - \Delta\sigma''_e = 22,1 - 27 = -4,9 \text{ МПа}$$

Окружна напруга в циліндричній втулці при затягуванні з'єднання:

на зовнішній поверхні втулки :

$$\sigma_{23} = 0,3\sigma''_e = 0,3 \cdot 27 = 8,1 \text{ МПа}$$

на внутрішній поверхні втулки :

$$\sigma_{24} = -0,3\sigma''_e = -0,3 \cdot 27 = -8,1 \text{ МПа}$$

Приріст окружної напруги в циліндровій втулці в робочих умовах в перетині товщиною S.

на зовнішній поверхні втулки :

$$\Delta\sigma_{23} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} + 0,3 \cdot \Delta\sigma''_e = \frac{0,2611200}{2 \cdot (6 - 1,8)} + 0,3 \cdot 27 = 45,4 \text{ МПа}$$

на внутрішній поверхні втулки :

$$\Delta\sigma_{24} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)} - 0,3 \cdot \Delta\sigma''_e = \frac{0,2611200}{2 \cdot (6 - 1,8)} - 0,3 \cdot 27 = -29,2 \text{ МПа}$$

Меридіальні напруги в перетині  $S_0$  на зовнішній поверхні втулки фланця в робочих умовах:

$$\Delta\sigma^p_{21} = \sigma_{21} + \Delta\sigma_{21} = 266,7 + 49,1 = 315,8 \text{ МПа}$$

Меридіальні напруги в перетині  $S_0$  на внутрішній поверхні втулки фланця в робочих умовах:

$$\Delta\sigma^p_{22} = \sigma_{22} + \Delta\sigma_{22} = -266,7 - 4,9 = -271,6 \text{ МПа}$$

Окружна напруга в перетині  $S_0$  на зовнішній поверхні втулки фланця в робочих умовах:

$$\sigma^p_{23} = \sigma_{23} + \Delta\sigma_{23} = 8,1 + 45,4 = 53,5 \text{ МПа}$$

Окружна напруга в перетині  $S_0$  на внутрішній поверхні втулки фланця в робочих умовах:

$$\sigma^p_{24} = \sigma_{24} + \Delta\sigma_{24} = -8,1 + (-29,2) = -37,3 \text{ МПа}$$

Умови статичної міцності фланців.

при затягуванні з'єднання:

$$\sigma_{S_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{21} \cdot \sigma_{23}} \\ \sqrt{\sigma_{22}^2 + \sigma_{24}^2 - \sigma_{22} \cdot \sigma_{24}} \end{array} \right\} \leq [\sigma]_{S_0}^{20} \quad (5.9)$$

$$\sigma_{S_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{266,7^2 + 8,1^2 - 266,7 \cdot 8,1} = 262,7 \\ \sqrt{(-266,7)^2 + (-8,1)^2 - (-266,7) \cdot (-8,1)} = 262,7 \end{array} \right\} = 262,7 < 877,6 \text{ МПа}$$

а.

у робочих умовах:

$$\sigma_{S_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{(\sigma_{21}^p)^2 + (\sigma_{23}^p)^2 - \sigma_{21}^p \cdot \sigma_{23}^p} \\ \sqrt{(\sigma_{22}^p)^2 + (\sigma_{24}^p)^2 - \sigma_{22}^p \cdot \sigma_{24}^p} \end{array} \right\} \leq [\sigma]_{S_0} \quad (5.10)$$

$$\sigma_{S_0} = \max \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{315,8^2 + 53,5^2 - 315,8 \cdot 53,5} = 292,8 \text{ МПа} \\ \sqrt{(-271,6)^2 + (-37,3)^2 - (-271,6) \cdot (-37,3)} = 255 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 292,8 \text{ МПа} < 734,3 \text{ МПа}.$$

Вимоги до жорсткості (герметичності).

Умова жорсткості (герметичності) фланцевого з'єднання:

$$\theta + \Delta\theta \leq [\theta]$$

де  $[\sigma]$  – кут повороту фланця, що допускається, рад.

$$\theta + \Delta\theta = 8 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-3} = 9,2 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$$

У робочих умовах умова

$$9,2 \cdot 10^{-3} \leq [\theta] = 0,013 \text{ рад} \text{ виконується.}$$

В умовах випробування

$$9,2 \cdot 10^{-3} \leq [\theta] = 0,017 \text{ рад} \text{ виконується.}$$

## 5.6 Розрахунок на міцність, жорсткість та стійкість кожухотрубчастого теплообмінника з нерухомими трубами та компенсатором на кожусі

Початкові дані:

Внутрішній діаметр кожуха $D$ , мм	1200
Довжина теплообмінних труб $l$ , мм	6000
Зовнішній діаметр теплообмінної труби $d_m$ , мм	25
Товщина стінки труби $S_m$ , мм	2
Число ходів по трубам	1
Розрахунковий тиск у трубному просторі $P_m$ , МПа	0,261
Розрахунковий тиск у міжтрубному просторі $P_K$ , МПа	0,261
Розрахункова температура труб $t_m$ , °C	155
Розрахункова температура кожуха $t_K$ , °C	125
Матеріал кожуха	Ст3сп5
Матеріал розподільної камери, кришки, трубної решітки та теплообмінних труб	сталь марки 12X18H10T
Середовище в трубному просторі – пожежовибухонебезпечне, шкідливе, 3 класу безпеки за ГОСТ 12.1.007-76	
Середовище в міжтрубному просторі – пожежовибухобезпечне, не шкідливе, 3 класу безпеки за ГОСТ 12.1.007-76	
Група теплообмінника по трубному простору	1



Група теплообмінника по міжтрубному простору	0,9
Загальне число циклів навантаження N	1000
Строк служби	20
На рисунку 5.4 зображено підігрівач	

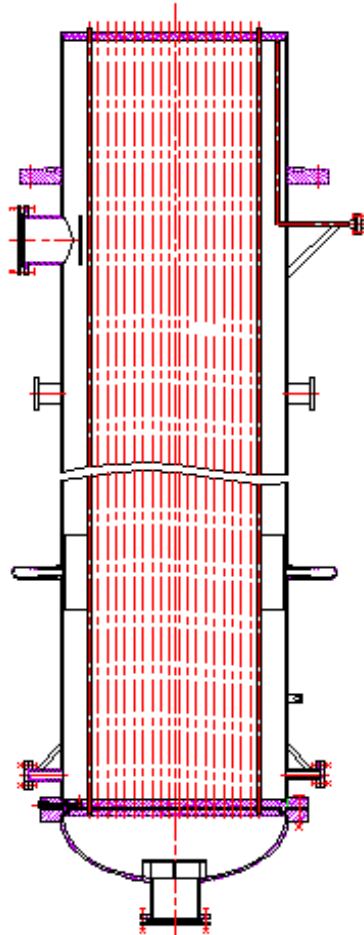


Рисунок 5.4 - Підігрівач

Розрахункова температура

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

$$t_{кам} = 2 t_m - t_k = 2 \cdot 155 - 125 = 185^\circ\text{C}.$$

Розрахункову температуру ізольованих фланців визначаємо за наступною формулою

$$t_\phi = t,$$

де  $t$  – розрахункова температура апарата, °С.

Розрахункову температуру ізолюваних апаратних фланців і фланців штуцерів розподільної камери теплообмінника приймаємо рівною температурі розподільної камери, тобто  $t_{\phi} = t_{\text{кам}} = 185^{\circ}\text{C}$ .

Розрахункову температуру ізолюваних фланців штуцерів кожуха приймаємо рівною температурі середовища міжтрубного простору тобто  $t_{\phi} = t_{\kappa} = 125^{\circ}\text{C}$ .

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

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 t .$$

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

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 t_{\text{кам}} = 0,97 \cdot 185 = 179,45^{\circ}\text{C} .$$

Розрахункова температура болтів фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору

$$t_{\bar{\sigma}} = 0,97 t_{\kappa} = 0,97 \cdot 125 = 122,25^{\circ}\text{C} .$$

Допустимі напружини

Допустимі напружини при розрахунковій температурі  $[\sigma]$  і при температурі  $20^{\circ}\text{C}$   $[\sigma]_{20}$ , МПа, для матеріалів елементів апарата приведені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Допустимі напружини матеріалів деталей теплообмінника

Елементи апарата	Матеріал	Допустимі напружини, МПа		Відношення допустимих напружин $[\sigma]_{20} / [\sigma]$
		при температурі 20 °С $[\sigma]_{20}$	при розрахунковій температурі $[\sigma]$	
Кожух	СтЗсп5	154	143,2	1,075
Трубна решітка	12Х18Н10Т	184	138,4	1,33
Труби	12Х18Н10Т	184	138,4	1,33
Фланці апаратні	12Х18Н10Т	184	138,4	1,33
Фланці штуцерів трубного простору	Сталь20	147	137,2	1,07
Фланці штуцерів міжтрубного простору	Сталь 20	147	137,2	1,07
Болти та гайки кріплення апаратних фланців та штуцерів трубного простору	Сталь марки 12Х18Н110Т	184	138,4	1,33
Болти фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору	Сталь 35	130	125	1,04
Гайки фланцевих з'єднань штуцерів міжтрубного простору	Сталь 20	95,65	91,95	1,04

Пробний тиск, при якому проводиться випробування апарата, визначаємо за формулою

$$P_{np} = 1,25 P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (5.11)$$

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

Для трубного простору при мінімальному відношенні допустимих напружин  $[\sigma]_{20} / [\sigma] = 1,07$  пробний тиск складає

$$P_{np\ m} = 1,25 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,261 \cdot 1,07 = 0,35 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору теплообмінника складає

$$P_{z\ mp} = \rho_e \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6} = 0,07 \text{ МПа,}$$

$H_c$  – висота стовпа води у трубному просторі.

Гідростатичний тиск при випробуванні трубного простору

$$P_{z\ mp} = 0,014 \leq 0,05 P_{np\ m} = 0,05 \cdot 0,35 = 0,0175 \text{ МПа}$$

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

$$P_{i\ m} = P_{np\ m} = 0,35 \text{ МПа.}$$

Умова

$$P_{i\ m} = 0,35 \text{ МПа} \leq 1,35 P_m \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,261 \cdot 1,07 = 0,377 \text{ МПа}$$

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

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

$$P_{np\ k} = 1,25 P_k \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,261 \cdot 1,04 = 0,34 \text{ МПа.}$$

Гідростатичний тиск при випробуванні міжтрубного простору

$$P_{z\ k} = \rho_e \cdot g \cdot H_k \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 7,3 \cdot 10^{-6} = 0,07 >$$

$$> 0,05 P_{прк} = 0,05 \cdot 0,34 = 0,017 \text{ МПа}$$

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

$$P_{ік} = P_{прк} + P_{зк} = 0,34 + 0,017 = 0,357 \text{ МПа.}$$

Умова

$$P_{ік} = 8,6 \leq 1,35 P_{к} \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 0,261 \cdot 1,04 = 0,366 \text{ МПа}$$

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

Коефіцієнти міцності зварних швів

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

Міжтрубний простір теплообмінника за розрахунковим тиском, температурою та характером робочого середовища відноситься до 4 групи посудин, для яких довжина контрольованих швів складає не менше 25 % від загальної довжини кожного шва. Для стикових (поздовжніх) швів із двостороннім суцільним проваром, виконаних автоматичною зваркою, при контрольованій довжині швів від 10 до 50 %, коефіцієнт міцності зварних швів міжтрубного простору приймається рівним  $\varphi_p = 0,9$ .

Добавки до розрахункових величин

Суми добавок до розрахункових величин визначаємо за формулою

$$C = C_1 + C_2,$$

$C_1$  – добавка для компенсації корозії та ерозії, мм;

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

Добавку для компенсації корозії та ерозії  $C_1$  розраховуємо за формулою

$$C_1 = P \cdot \tau + C_3, \text{ мм},$$

$P$  – швидкість проникнення корозії, мм/год;

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

$C_3$  – добувка для компенсації ерозії, мм.

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

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

Добавка для компенсації корозії та ерозії складає:

– для труб з боку трубного та міжтрубного просторів

$$C_{1m} = 0 \text{ мм};$$

– для кожуха

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

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

Розрахунок кожуха теплообмінника. Розрахунок товщини стінки циліндричної обичайки кожуха теплообмінника

Розрахункову товщину стінки кожуха від дії внутрішнього тиску визначаємо за формулою:

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

$P_k$  – розрахунковий тиск у міжтрубному простору теплообмінника при розрахунковій температурі, МПа;

$D$  – внутрішній діаметр обичайки кожуха, мм;

$\varphi_p$  – коефіцієнт міцності поздовжніх зварних швів.

$$S_{pk} = \frac{0,261 \cdot 1200}{2 \cdot 1432 \cdot 1 - 0,261} = 1,09 \text{ мм}.$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо за формулою

$$S \geq S_p + C = 1,09 + 0,5 = 1,59 \text{ мм.}$$

Відповідно галузевому стандарту приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха рівною  $s_k = 8$  мм, тому що мінімальна товщина фланця  $\varnothing 1200$  дорівнює 8 мм. Добавка для компенсації мінусового допуску для сталевих листа товщиною 8 мм складає  $C_2 = 0,8$  мм. Добавку

$$C_2 = 0,8 > 0,05 S = 0,05 \cdot 8 = 0,4 \text{ мм}$$

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

Сума добавок до розрахункової товщини стінки кожуха складає

$$C_k = C_{1k} + C_{2k} = 0,5 + 0,8 = 1,3 \text{ мм.}$$

Виконавчу товщину стінки кожуха визначаємо за формулою

$$S_k \geq S_{pk} + C_k = 1,09 + 1,3 = 2,39 \text{ мм.}$$

Остаточну приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха рівною  $s_k = 8$  мм.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск в кожусі визначаємо за формулою

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} = \frac{2 \cdot 143,2 \cdot 0,9 \cdot (8 - 1,3)}{1200 + (8 - 1,3)} = 1,43 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P_k = 0,261 \leq [P]_k = 1,43 \text{ МПа}$$

виконується.

Умова застосування розрахункових формул

$$\frac{s - c}{D} = \frac{8 - 1,3}{1200} = 0,0056 \leq 0,1$$

виконується.

Визначення товщини трубної решітки.

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

Розрахунковий тиск визначаємо за формулою:

$$P = \max \{ |P_m|; |P_k|; |P_m - P_k| \} = \quad (5.13)$$

$$= \max\{0,261; 0,261; |0,261-0,261|\} = 0,261 \text{ МПа.}$$

Розрахункову товщину трубної решітки за умови міцності максимальної зони визначаємо за формулою:

$$S_{rP} = 0,5 \cdot D_e \sqrt{P/[\sigma]_r} = 0,5 \cdot 34 \sqrt{0,261/143,2} = 0,7 \text{ мм};$$

де  $D_e$  – діаметр окружності, вписаної в максимальну без трубну зону виконавчу товщину трубної решітки за умови міцності максимальної без трубної зони визначаємо за формулою:

$$S_r \geq S_{rP} + C_p = 0,7 + 1,1 = 1,7 \text{ мм};$$

Коефіцієнт ослаблення трубної решітки визначаємо за формулою:

$$\varphi_P = 1 - d_o/t_P = 1 - 25,15/32 = 0,214;$$

Визначення допоміжних величин

Відносна характеристика безтрубного краю трубної решітки

$$m_n = 0,5 D/a_1, \quad (5.14)$$

де  $D=1200$  мм - внутрішній діаметр кожуха;

$a_1$  - відстань від осі кожуха до осі найбільш віддаленої труби, мм, розраховується по формулі:

$$a_1 = 0,5(D_0 - d_m) = 0,5(1188 - 25) = 581,5;$$

$$m_n = 0,5 \cdot 1200/581,5 = 1,03;$$

Коефіцієнти впливу тиску на трубну решітку:

$$\eta_\kappa = 1 - \frac{i \cdot d_m^2}{4 \cdot a_1^2} = 1 - \frac{1114 \cdot 25^2}{4 \cdot 581,5^2} = 0,48;$$

де  $i=1114$  - кількість труб в решітці;

$d_m=25$  мм — зовнішній діаметр труби;

$S_m=2$  мм — товщина стінки труби.

$$\eta_m = 1 - \frac{i \cdot (d_m - 2S_m)^2}{4a_1^2} = 1 - \frac{1114 \cdot (25 - 2 \cdot 2)^2}{4 \cdot 581,5^2} = 0,64;$$

Коефіцієнт жорсткості трубної решітки визначають за формулою

$$\psi_0 = \eta_m^{2,33} = 0,64^{2,33} = 0,35;$$



Модуль пружності основи (системи труб)  $K_y$ , Н/мм<sup>3</sup>, визначають за формулою:

$$K_y = \frac{2E_m \cdot (\eta_m - \eta_k)}{l} = \frac{2 \cdot 197 \cdot 10^3 \cdot (0,64 - 0,48)}{6000} = 10,5;$$

де  $E_m$  - модуль поздовжньої пружності матеріалу труб при розрахунковій температурі, МПа;

$l$  - довжина труб, мм.

Зведене відношення жорсткості труб до жорсткості кожуха розраховують за формулою

$$\rho = \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l}{2E_k \cdot S_k} = \frac{10,5 \cdot 581,5 \cdot 6000}{2 \cdot 179 \cdot 10^3 \cdot 8} = 12,8$$

де  $E_k$  - модуль поздовжньої пружності матеріалу кожуха при розрахунковій температурі, МПа;

$S_k$  - виконавча товщина стінки кожуха, мм.

Коефіцієнти змінення жорсткості системи труби-кожух визначають за формулами:

$$K_q = 1 + K_q^*;$$

$$K_p = 1 + K_p^*;$$

де  $K_q^*$  - коефіцієнт, який враховує відношення осьового переміщення компенсатора під дією розтягувальної сили до осьового переміщення країв корпусу апарата без компенсатора під дією тієї ж сили;

$K_p^*$  - коефіцієнт, який враховує відношення осьового переміщення компенсатора під дією внутрішнього тиску до осьовому переміщення країв корпусу апарата без компенсатора під дією того ж тиску;

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

$$\Delta = l \cdot |[\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0)]|$$

де  $\alpha_k$ ,  $\alpha_m$  - коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно кожуха та труб, 1/°C;

$$\Delta = 6000 \cdot |[(11,8 \cdot 10^{-6} \cdot (125 - 20) - 17 \cdot 10^{-6} \cdot (155 - 20))]| = 6,3 \text{ мм};$$

За додатком визначаємо компенсуючи здатність однієї лінзи компенсатора при загальному числі циклів навантаження  $N=10^3$ ,  $\Delta_{\pi}=10,5$  мм.

Необхідне число лінз в компенсаторі визначають за формулою:

$$n_{\pi} = \Delta / \Delta_{\pi} = 6,3 / 10,5 = 0,6$$

Отримане число лінз округляємо до найближчого більшого цілого числа, тобто  $n_{\pi}=1$ .

Жорсткість компенсатора визначаємо за додатком ,  $C_a=80780$  Н.

Коефіцієнт жорсткості лінзового компенсатора  $K_K$  Н/мм, визначають за формулою

$$K_K = \frac{C_a}{n_{\pi} \cdot \Lambda_{\pi}} = \frac{80780}{1 \cdot 10,5} = 7693,3 \text{ Н/мм};$$

Внутрішній діаметр западини хвилі компенсатора визначаємо за формулою:

$$d_K = d_H - 2S_{\pi} = 1216 - 2 \cdot 4 = 1208 \text{ мм};$$

де  $d_H$  – зовнішній діаметр хвилі компенсатора.

Враховуючи те, що теплообмінник з компенсатором на кожусі коефіцієнти  $K_q^*$  і  $K_p^*$  визначають за формулами:

$$K_q^* = \frac{\pi \cdot D \cdot E_K \cdot S_K}{l \cdot K_K} = \frac{3,14 \cdot 1200 \cdot 179 \cdot 10^3 \cdot 8}{6000 \cdot 7693,3} = 116,9;$$

$$K_p^* = - \frac{\pi \cdot (D_n^2 - d_K^2) \cdot E_K \cdot S_K}{1,2 l \cdot D \cdot K_K} = - \frac{3,14 \cdot (1366^2 - 1208^2) \cdot 179 \cdot 10^3 \cdot 8}{1,2 \cdot 6000 \cdot 1200 \cdot 7693,3} = 27,5;$$

де  $K_K$  - коефіцієнт жорсткості компенсатора, Н/мм;

$D_n$  - зовнішній діаметр гребеня хвилі компенсатора, мм;

$d_K$  - внутрішній діаметр западини хвилі компенсатора, мм.

$$K_q = 1 + 116,9 = 117,9;$$

$$K_p = 1 + 27,5 = 28,5;$$

Безрозмірний коефіцієнт  $m_{cp}$  розраховуємо за формулою:

$$m_{cp} = 0,15 \frac{i \cdot (d_m - S_m)^2}{a_1^2};$$

де  $i$  – число труб в трубній решітці;

$a_1$  - відстань від осі кожуха до осі найбільш віддаленої труби, мм;

$$m_{cp} = 0,15 \frac{1114 \cdot (25 - 2)^2}{581,5^2} = 0,26;$$

Зведений тиск визначаємо за формулою:

$$\begin{aligned} P_0 &= 0,5[\alpha_k \cdot (t_k - t_0) - \alpha_m \cdot (t_m - t_0)] \cdot K_y \cdot l + \\ &+ [\eta_m - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0,5\rho \cdot K_q)] \cdot P_m - \\ (5.15) \quad &- [\eta_k - 1 + m_{cp} + m_n \cdot (m_n + 0,3\rho \cdot K_p)] \cdot P_k = \\ &= 0,5[11,8 \cdot 10^{-6} \cdot (125 - 20) - 17 \cdot 10^{-6} \cdot (155 - 20)] \cdot 10,5 \cdot 6000 + \\ &+ [0,64 - 1 + 0,26 + 1,03 \cdot (1,03 + 0,5 \cdot 8,5 \cdot 117,9)] \cdot 0,261 - \\ &- [0,48 - 1 + 0,26 + 1,03 \cdot (1,03 + 0,3 \cdot 8,5 \cdot 28,5)] \cdot 0,261 = -474,4 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Коефіцієнт системи решітка-труби  $\beta$ , 1/мм, визначають за формулою

$$\beta = \frac{1,82}{S_p} \cdot \sqrt{\frac{K_y \cdot S_p}{\psi_0 \cdot E_p}} = \frac{1,82}{1,7} \cdot \sqrt{\frac{10,5 \cdot 1,7}{0,35 \cdot 197 \cdot 10^3}} = 0,136$$

де  $E_p$  - модуль поздовжньої пружності матеріалу решітки при розрахунковій температурі, МПа.

Коефіцієнти системи кожух-решітка і обичайка-фланець камери відповідно  $\beta_1$  і  $\beta_2$  1/мм визначають за формулами:

$$\beta_1 = \frac{1,84}{\sqrt{D \cdot S_1}} = \frac{1,84}{\sqrt{1200 \cdot 8}} = 0,0187;$$

$$\beta_2 = \frac{1,84}{\sqrt{D \cdot S_2}} = \frac{1,84}{\sqrt{1200 \cdot 8}} = 0,0187;$$

де  $S_1$  - товщина стінки кожуха в місці з'єднання з трубною решіткою або фланцем, мм;

$S_2$  - товщина стінки камери в місці з'єднання з трубною решіткою або фланцем, мм.

Еквівалентну товщину втулки приварного встик фланця визначають за формулою:

$$S_s = K \cdot S_0$$

де  $S_0$  - товщина конічної втулки фланця в місці з'єднання з кожухом, мм;

$K$  - безрозмірний коефіцієнт.

Коефіцієнт  $K$  розраховують за формулою:

$$K = 1 + \frac{(\beta_3 - 1) \cdot X}{X + 0,25(1 + \beta_3)}; \quad (5.16)$$

де  $\beta_3, X$  - безрозмірні коефіцієнти, які визначають за формулами:

$$\beta_3 = S_{1\phi} / S_0;$$

$$X = l_\phi / \sqrt{D \cdot S_0}$$

де  $l_\phi$  — довжина конічної втулки фланця, мм;

$S_{1\phi}$  - товщина конічної втулки фланця в місці з'єднання з фланцем, мм.

$$X = 72 / \sqrt{1200 \cdot 8} = 0,73;$$

$$\beta_3 = 48 / 8 = 6;$$

$$K = 1 + \frac{(6 - 1) \cdot 0,73}{0,73 + 0,25(1 + 6)} = 1,47;$$

$$S_3 = 1,47 \cdot 8 = 11,76;$$

Жорсткість фланцевого з'єднання при згині  $K_\phi, H$ , розраховують за формулою:

$$K_\phi = K_{\phi 1} + K_{\phi 2}; \quad (5.17)$$

де

$$K_{\phi 1} = \frac{E_1 \cdot h_1^3 \cdot b_1}{12R_1^2} + K_1 \cdot \left(1 + \frac{\beta_1 \cdot h_1}{2}\right); \quad (5.18)$$

$$K_{\phi 2} = \frac{E_2 \cdot h_2^3 \cdot b_2}{12R_2^2} + K_2 \cdot \left(1 + \frac{\beta_2 \cdot h_2}{2}\right); \quad (5.19)$$

$$K_1 = \frac{\beta_1 \cdot D \cdot E_K \cdot S_1^3}{11R_1}; \quad (5.20)$$

$$K_2 = \frac{\beta_2 \cdot D \cdot E_K \cdot S_2^3}{11R_2}; \quad (5.21)$$

$E_1 = E_2 = 197 \cdot 10^3$  МПа;  $E_K = E_0 = 191,6 \cdot 10^3$  МПа - модулі поздовжньої пружності матеріалів відповідно фланця кожуха, фланця розподільної камери, кожуха та камери при розрахунковій температурі;

$R_1, R_2$  - радіуси центрів ваги тарілки фланця відповідно кожуха та камери;

$h_1, h_2$  - товщини фланців під прокладкою відповідно кожуха та розподільної камери, мм;

$h_1=36$  мм,  $h_2=34$  мм - ширини фланців відповідно кожуха та розподільної камери, мм.

Радіуси центрів ваги тарілок фланців кожуха та розподільної камери визначають за формулою:

$$R_1 = R_2 = 0,25(D_H - D) = 0,25(1360 - 1200) = 40 \text{ мм};$$

а ширини фланців - за формулою:

$$b_1=b_2=0,5(D_H - D)=0,5(1360 - 1200)=80 \text{ мм};$$

де  $D_H$  - зовнішній діаметр фланця, мм.

$$K_1 = \frac{0,0187 \cdot 1200 \cdot 197 \cdot 10^3 \cdot 8^3}{11 \cdot 40} = 5,1 \cdot 10^6;$$

$$K_2 = \frac{0,0187 \cdot 1200 \cdot 191,6 \cdot 10^3 \cdot 8^3}{11 \cdot 40} = 5 \cdot 10^6;$$

$$K_{\Phi 1} = \frac{191,6 \cdot 10^3 \cdot 36^3 \cdot 80}{12 \cdot 40^2} + 5,1 \cdot 10^6 \cdot \left(1 + \frac{0,0187 \cdot 36}{2}\right) = 44 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$K_{\Phi 2} = \frac{191,6 \cdot 10^3 \cdot 34^3 \cdot 80}{12 \cdot 40^2} + 5 \cdot 10^6 \cdot \left(1 + \frac{0,0187 \cdot 34}{2}\right) = 38 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$K_{\Phi} = 44 \cdot 10^6 + 38 \cdot 10^6 = 82 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

Коефіцієнти впливу тиску на згин фланців  $m_1$  і  $m_2$ , мм<sup>2</sup>, визначають за формулами:

$$m_1 = \frac{1 + \beta_1 \cdot h_1}{2 \cdot \beta_1^2} = \frac{1 + 0,0187 \cdot 36}{2 \cdot 0,0187^2} = 2392,4 \text{ мм}^2$$

$$m_2 = \frac{1 + \beta_2 \cdot h_2}{2 \cdot \beta_2^2} = \frac{1 + 0,0187 \cdot 34}{2 \cdot 0,0187^2} = 2339 \text{ мм}^2$$

Зведене відношення жорсткості труб до жорсткості фланцевого з'єднання

$$\rho_1 = \frac{K_y \cdot D \cdot a_1}{2 \cdot \beta^2 \cdot K_{\Phi} \cdot R_1} = \frac{10,5 \cdot 1200 \cdot 581,5}{2 \cdot 0,136^2 \cdot 82 \cdot 10^6 \cdot 40} = 0,048;$$

Коефіцієнти  $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3$  визначають залежно від параметра  $\omega$ .

Параметр  $\omega$  визначають за формулою:

$$\omega = \beta \cdot a_1 = 0,136 \cdot 581,5 = 79,1;$$

Значення коефіцієнтів  $T_1, T_2, T_3$  визначають залежно від коефіцієнта  $\omega$  і відносної характеристики безтрубного краю трубної решітки  $m_n$  або за формулами:

$$\begin{aligned} T_1 &= \Phi_1 \cdot [m_n + 0,5(1 + m_n \cdot t) \cdot (t - 1)] = \\ &= 111,8 \cdot [1,03 + 0,5(1 + 1,03 \cdot 4,34) \cdot (4,34 - 1)] = 1406; \end{aligned}$$

$$T_2 = \Phi_2 \cdot t = 79,1 \cdot 4,34 = 343,3;$$

$$T_3 = \Phi_3 \cdot m_n = 111,8 \cdot 1,03 = 115,15;$$

$$\text{де } t = 1 + 1,41\omega \cdot (m_n - 1) = 1 + 1,41 \cdot 79,1 \cdot (1,03 - 1) = 4,34;$$

Визначення зусиль в елементах апаратів

Трубну решітку кожухотрубчастого теплообмінного апарата з нерухомими трубними решітками, та компенсатором на кожусі розглядають як круглу пластину, яка оперта та защемлена по краю і знаходиться на так званій пружній узагальненій основі.

В прийнятій розрахунковій схемі визначають навантаження, які діють у наступних перерізах:

- у кільцевому перерізу неперфорованої частини решітки з фланцем;
- у кільцевому перерізу центральної перфорованої частини решітки з неперфорованою частиною;
- у поперечному перерізу з'єднання фланця з кожухом;
- у поперечному перерізу з'єднання труб з решіткою.

На базі рішення рівнянь сумісності деформацій (лінійних переміщень та кутів поворотів) елементів системи отримані розрахункові рівняння для навантажень (розтягувальних  $N$  і перерізувальних  $b$  сил та згинальних моментів  $M$ ), які діють:

- у кільцевому перерізу з'єднання неперфорованої частини трубної решітки з фланцем ( $Q, M$ );
- у кільцевому перерізу з'єднання центральної перфорованої частини

решітки з неперфорованою частиною ( $Q_a, M_a$ );

- у перерізу з'єднання фланця з кожухом ( $N_K, M_K$ );
- у перерізу труби  $N_m, M_m$ ).

Згинальний момент, розподілений по периметру трубної решітки,  $M$ , Н·мм/мм, визначають за формулою

$$M = \frac{a_1}{\beta} \cdot \frac{P_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - P_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2}; \quad (5.22)$$

де  $P_1$  – тиск, МПа

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{K_y}{\beta \cdot K_\phi} \cdot (m_1 \cdot P_K - m_2 \cdot P_m) = \\ &= \frac{10,5}{0,136 \cdot 82 \cdot 10^6} \cdot (2392,4 \cdot 0,261 - 2339 \cdot 0,261) = 0,013 \cdot 10^{-3} \text{ МПа} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{581,5}{0,136} \cdot \frac{0,013 \cdot 10^{-3} \cdot (1406 + 12,8 \cdot 117,9) - (-474,4) \cdot 343,3}{(1406 + 12,8 \cdot 117,9) \cdot (115,15 + 0,048) - 343,3^2} \\ &= 3195 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм}. \end{aligned}$$

Перерізувальну силу, що розподілена по периметру трубної решітки  $Q$ , Н/мм, визначають за формулою

$$\begin{aligned} Q &= \frac{a_1 \cdot [P_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - P_1 \cdot T_2]}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = \\ &= \frac{581,5 \cdot [-474,4 \cdot (115,15 + 0,048) - 0,013 \cdot 10^3 \cdot 343,3]}{(1406 + 12,8 \cdot 117,9) \cdot (115,15 + 0,048) - 343,3^2} = -157,7 \text{ Н/мм}; \end{aligned}$$

Згинальний момент, розподілений по периметру перфорованої зони трубної решітки  $M_a$ , Н·мм/мм, розраховують за формулою

$$M_a = M + (0,5 D - a_1) \cdot Q = 3195 + (0,5 \cdot 1200 - 581,5) \cdot (-157,7) = 277,55 \text{ Н} \cdot \text{мм/мм};$$

Перерізувальну силу, яка розподілена по периметру перфорованої зони трубної решітки,  $Q_a$ , Н/мм, визначають за формулою:

$$Q_a = m_n \cdot Q = 1,03 \cdot (-157,7) = -162,4 \text{ Н/мм};$$

Розрахунок лінзового компенсатора

Визначення допоміжних величин

Розрахунковий діаметр западини хвилі компенсатора  $d_1$ , мм, визначають за формулою:

$$d_1 = d_n - S_n = 1216 - 4 = 1208 \text{ мм};$$

Розрахунковий діаметр гребеня хвилі компенсатора  $d_2$ , мм, визначають за формулою:

$$d_2 = D_n - S_n = 1366 - 4 = 1362 \text{ мм};$$

Середній радіус тороїдального переходу хвилі компенсатора  $r_s$ , мм, розраховують за формулою:

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

Допоміжну величину впливу переходу розраховують за формулою:

$$\rho_n = 2 - 100 \frac{r_s}{d_1 + d_2} = 2 - 100 \frac{16}{1208 + 1362} = 1,37;$$

Розрахункову ширину пластинчастої зони хвилі компенсатора  $b_n$ , мм, розраховують за формулою

$$b_n = 0,5(d_2 - d_1 + \rho_n \cdot r_s) = 0,5(1362 - 1208 + 1,37 \cdot 16) = 66,04 \text{ мм};$$

Радіус закруглення пластинчастої зони хвилі компенсатора  $R_0$ , мм, визначають за формулою

$$R_0 = 0,25(d_2 + d_1 - 2b_n) = 0,25(1362 + 1208 - 2 \cdot 66,04) = 609,48 \text{ мм};$$

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

$$d_{cp} = 0,5(d_2 + d_1) = 0,5(1362 + 1208) = 1285 \text{ мм};$$

Характеристики хвилі визначають за формулами:

$$\xi = \frac{d_2}{d_1} - 1 = \frac{1362}{1208} - 1 = 0,127;$$

$$\eta = \frac{d_2 - d_1}{2r_s} - 2 = \frac{1362 - 1208}{2 \cdot 16} - 2 = 2,8;$$

$$\alpha = S_n / d_1 = 4 / 1208 = 0,0033;$$

$$\lambda = b_n / R_0 = 66,04 / 609,48 = 0,108;$$

$$\gamma = 1 + 1,25 \frac{d_2}{d_1} - \frac{3,2r_s}{d_2 - d_1} = 1 + 1,25 \frac{1362}{1208} - \frac{3,2 \cdot 16}{1362 - 1208} = 2,07;$$

Розрахунок компенсатора на міцність



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

$$S_n \geq S_{np} + C_n;$$

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  $S_n=3,0$  мм приймають рівною не більше 0,5 мм, при  $S_n = 4,0$  мм - не більше 0,8 мм.

Розрахункову товщину стінки компенсатора визначають за формулою

$$\begin{aligned} S_{np} &= S_4 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (S_3/S_4)^4}} = \\ &= 0,42 \cdot \sqrt{0,5 + \sqrt{0,25 + (1,27/0,42)^4}} = 1,3; \\ S_3 &= 0,25(d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s) \cdot \sqrt{P/[\sigma]_n} = \\ &= 0,25(1362 - 1208 - 2,07 \cdot 16) \cdot \sqrt{0,261/147} = 1,27; \\ S_4 &= \frac{P \cdot d_{cp}}{2[\sigma]_n \cdot \varphi} \cdot \frac{L}{d_2 - d_1 + 2l_k + 2,3r_s} = \\ &= \frac{0,261 \cdot 1285}{2 \cdot 147 \cdot 1} \cdot \frac{74}{1362 - 1208 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16} = 0,42; \end{aligned}$$

$$S_n \geq 1,3 + 0,5 = 1,8 \text{ мм}$$

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

$L$  — виконавча довжина компенсатора, мм;

$l_k$  - приєднувальна довжина циліндричної частини компенсатора, мм;

$\varphi$  - коефіцієнт міцності поздовжнього зварного шва компенсатора.

Допустимий тиск  $[P]_n$ , МПа, визначають за формулою

$$[P]_n = \frac{[P]_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_1}{[P]_2}\right)^2}} = \frac{0,27}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,27}{845,3}\right)^2}} = 0,269 \text{ МПа};$$

де

$$\begin{aligned}
[P]_1 &= 16 \left( \frac{S_{\text{л}} - C_{\text{л}}}{d_2 - d_1 - \gamma \cdot r_s} \right)^2 \cdot [\sigma]_{\text{л}} = \\
&= 16 \left( \frac{1,8 - 0,5}{1362 - 1208 - 2,07 \cdot 16} \right)^2 \cdot 147 = 0,27 \text{ МПа} \\
[P]_2 &= \frac{2[\sigma]_{\text{л}} \cdot \varphi \cdot (S_{\text{л}} - C_{\text{л}})}{d_{\text{сп}}} \cdot \frac{d_2 - d_1 + 2l_{\text{к}} + 2,3r_s}{L} = \\
&= \frac{2 \cdot 147 \cdot 1 \cdot (1362 - 0,5)}{1285} \cdot \frac{1362 - 1208 + 2 \cdot 5 + 2,3 \cdot 16}{74} = 845,3 \text{ МПа};
\end{aligned} \tag{5.23}$$

Умова  $P = 0,261 < [P]_{\text{л}} = 0,269$  виконується.

### 5.7 Розрахунок опорних вузлів

Вибір опор.

У якості опорних вузлів приймаємо опори-лапи вертикальних апаратів (Рис. 5.5).

При  $n=4$  забезпечуваючи рівномірний розподіл навантаження між всіма опорними лапами (точний монтаж, установка прокладок, підливка бетону і тому подібне), зусилля визначають по формулі:

$$F_1 = \frac{G}{n} = \frac{m \cdot g}{n}, \tag{5.24}$$

де  $m$  маса апарату в робочих умовах;

$n$  – кількість опорних лап;

$g$  – прискорення вільного падіння.

$$F_1 = \frac{G}{n} = \frac{m \cdot g}{n} = \frac{20000 \cdot 9,81}{4} = 49050 \text{ Н}$$

де  $m=20000$  кг;

$n = 4$ .

Вибираємо опору виконання - 3 ГОСТ 26296-84.

Умовне позначення лапи:

Опорна лапа 3-63000 ГОСТ 26296-84

Зварку опорної лапи і приварювання її до обичайки або накладного листа слід проводити суцільним двостороннім швом.

При виборі опорної лапи необхідно проводити розрахунок здатності обичайки, що несе, в місці приварювання опорної лапи по ГОСТ 26202-84. В разі недостатньої здатності обичайки, що несе, необхідно застосовувати накладні листи або збільшувати товщину стінки обичайки.

Накладний лист приварюють до обичайки суцільним однобічним швом відповідно до галузевої нормативно-технічної документації.

На лапу, на видному місці, має бути нанесена маркіровка, що містить позначення і марку матеріалу.

При попаданні накладного листа на зварний шов обичайки допускається на накладному листі виконувати два контрольні різьбові отвори. М10.

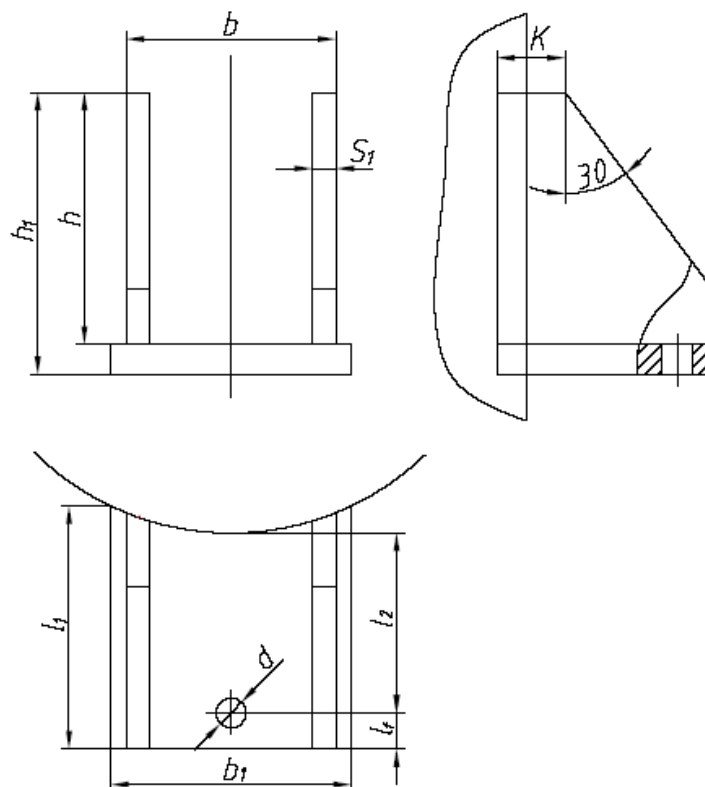


Рисунок 5.5 - Опорна лапа

$$l_1 = 350 \text{ мм} ; b = 280 \text{ мм} ; b_1 = 295 \text{ мм} ; h = 275 \text{ мм} ; h_1 = 585 \text{ мм} ; K = 50 \text{ мм} ; l_F = 65 \text{ мм} ;$$

$$l_2 = 285 \text{ мм} ; S_1 = 10 \text{ мм} ; d = 35 \text{ мм} ; t = 6 \text{ мм} ; m_{\text{лапы}} = 27,3 \text{ кг}$$

Перевіряємо несучу:

$$F_1 \leq [F]_1 = \frac{[\sigma_i] \cdot h_1 \cdot (S - C)^2}{K_7 \cdot e_1};$$

$$e_1 = \frac{5}{6} l_1 = \frac{5}{6} \cdot 350 = 292 \text{ мм};$$

$$D_R = D; \quad \frac{h_1}{D_R} = \frac{585}{1800} = 0,325; \quad \frac{D_R}{2 \cdot (S - C)} = \frac{1800}{2 \cdot (6 - 1,22)} = 188;$$

$K_2 = 1,2$  для робочих умов,  $n_t = 1,5$ ;

$$\vartheta_1 = 0,3; \quad \vartheta_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\sigma_m}{[\sigma] \varphi}$$

де спільна меридіональна мембранна напруга в циліндричній обичайці:

$$\sigma_m = \frac{P \cdot D}{2(S - C)}$$

$$\sigma_m = \frac{0,261 \cdot 1800}{2(6 - 1,22)} = 49 \text{ МПа};$$

$K_1$  – коефіцієнт, визначають залежно від і:

$$K_1 = 0,56$$

По стосунках  $\frac{h_1}{D_R}$  і  $\frac{D_R}{2 \cdot (S - C)}$  визначуваний коефіцієнт  $K_7 = 0,66$

$$[F]_1 = \frac{167,2 \cdot 585 \cdot (6 - 1,22)^2}{0,66 \cdot 292} = 11596 \text{ Н};$$

Умова міцності  $F_1 \leq [F]_1$  не виконується.

Розрахунок вестимемо з накладним листом (Рис. 5.6).

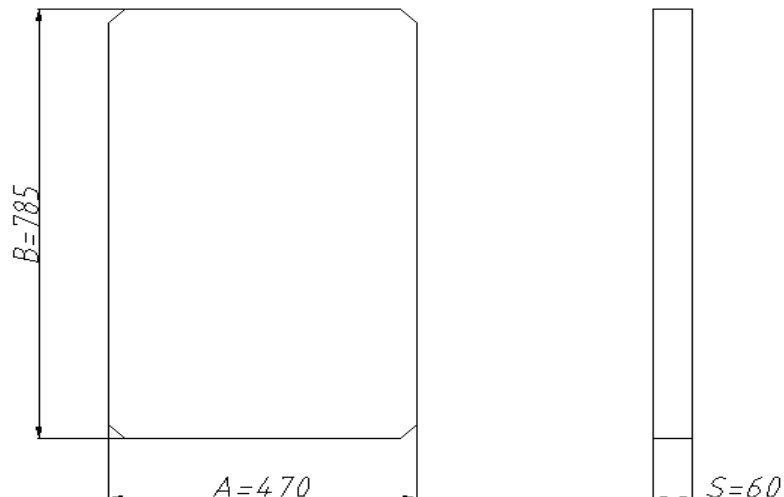


Рисунок 5.6 - Накладний лист

$$F_1 \leq [F_1] = \frac{[\sigma_i] \cdot b_3 (S - C)^2}{K_8 \cdot (e_1 + S_2)} \quad (5.25)$$

$$b_3 = B = 785$$

$$\frac{b_3}{D_R} = \frac{785}{1800} = 0,436$$

$$K_8 = 0,18; \vartheta_1 = 0,3; K_1 = 0,46;$$

$$[\sigma_i] = K_1 \cdot [\sigma] \cdot \frac{n_T}{K_2}$$

$$[\sigma_i] = 0,46 \cdot 167,2 \cdot \frac{1,5}{1,2} = 96,14 \text{ МПа}$$

$$F_1 \leq [F_1] = \frac{96,14 \cdot 785 (6 - 1,22)^2}{0,18 \cdot (162,5 + 6)} = 56853,5 \text{ Н} - \text{ умова виконується.}$$

## 5.8 Вибір стропувальних пристроїв

Тип стропового пристрою приймається згідно вантажопідйомності.

При визначенні зусилля, що діє на строповий пристрій, слід враховувати одночасну дію наступних навантажень:

- вертикальної сили тяжіння, що становить, від маси вантажу, що піднімається;
- від можливого відхилення підйомальної сили від вертикалі;
- від можливої нерівномірності навантаження на строповий пристрій в процесі переміщення вантажу;
- динамічних, залежних від способу монтажу;
- вертикальною складовою зусиль у відтяжках, прикріплених до вантажу;
- від сили вітру.

Вибираємо тип стропового пристрою – цапфи вантажопідйомністю від 10 до 320 (кН) включно.

Вага апарату в монтажних умовах :

$$G = m \cdot g = 13190 \cdot 9,81 = 129394 \text{ Н},$$

де  $m=18500$  – маса апарату в монтажних умовах.

Навантаження на одну цапфу при монтажі:

$$P = 1,25 \cdot \frac{G}{n} = 1,25 \cdot \frac{129394}{2} = 77871,25 \text{ Н};$$

де  $n$  – кількість стропувальних цапф.

Стропові пристрої слід розміщувати не менше ніж на 1 метр вище за центр тяжіння. У плані їх слід орієнтувати так, щоб після підйому апарату у вертикальне положення не був потрібний його розворот. При розміщенні стропових пристроїв, слід враховувати і можливість їх розстроповки з обслуговуючих майданчиків.

Стропові пристрої виготовляють зі сталей марки СтЗсп5 по ГОСТ 380-88.

Вибираємо цапфу вантажопідйомністю  $G = 80$  кН (Рис. 5.7).

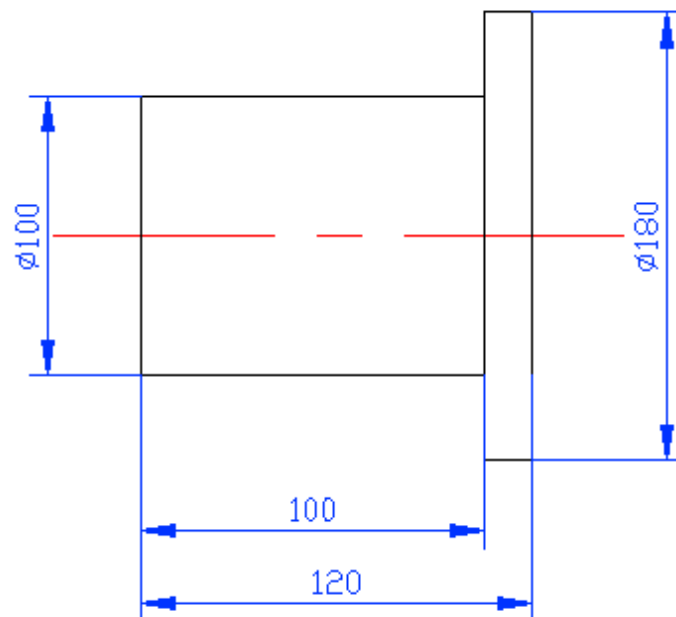


Рисунок 5.7 - Цапфа.

Цапфа 3 – 1 – 8 – 750 стЗсп5 ГОСТ 13716 – 73.

## 6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ АПАРАТУ

Даний колонний апарат складається з наступних основних складових частин: колона, яка складається з циліндричної суцільнозварної обичайки, еліптичного днища, конічного днища, апаратного фланця, сепаратора, насипної насадки, штуцерів і люків, опорних лап і стропувальних вушек; і теплообмінника, який складається з обичайки, еліптичного днища, апаратних фланців, трубних грат, трубчатки і штуцерів.

### Виготовлення обичайки

Обичайка виготовляється наступним методом. Проводиться розмітка листових заготовок з метою вказівки меж обробки і раціонального розкрою листа для якнайповнішого використання металу. Розмітка проводиться на розмічальних столах або плитах. По маркіровці листа перевіряється відповідність марки металу, довжини, товщина і ширина листа вимогам креслення. Лист укладається на розмічальний стіл маркіровкою вгору і на нім розмічається базові риси уздовж кромки з найменшою серповидністю і перекосом. На листі розмічаються риси під відрізу, риси з не паралельністю не більше 1 мм під стругання і контрольні риси. Різання листа здійснюють на ножицях гільйотин. Після різання здійснюють обробку кромки на кромкострогальному верстаті. Після цього лист подається до пресу для підгибки кромки. Після підгибки кромки лист подається до листогибочної машини з трьома вальцями розташованими симетрично, де листу надається необхідна кривизна з урахуванням пружності матеріалу обичайки. Збірку подовжнього стику проводять гідравлічно струбцинами. Після приварювання на ролікоопорах заводної і вихідної планок зварним трактором проводиться зварка внутрішнього шва на подушці флюсу, а після зачистки кореня шва зварюється зовнішній подовжній шов. Після зварки зовнішнього шва на стенді шов зачищають, знімають посилення і видаляють вхідну і вихідну планки. Далі обичайка подається до листогибочної машини на правку, контролюються зварні шви ультразвуковою дефектоскопією.

Отвори в обичайці під штуцера обробляють вирізкою газовим різакон з попередньою розміткою.

### **Виготовлення еліптичного днища**

Днища виконують за технічними умовами на виготовлення і постачання днищ, які викладені в стандартах на днища. Днища можна виготовляти штампуванням на пресах, методом обкатки роликани, електрогідравлічним і електромагнітним штампуванням. Формування днища методом штампування на пресах проводять в наступному порядку. Заготівка за допомогою транспортера подається в нагрівальну піч для рівномірного нагріву до необхідної температури. Нагріта заготівка спеціальними захватами витягується з печі і подається на транспортер, за допомогою якого транспортується до штампу, що знаходиться під пресом. Потім заготівку встановлюють на протяжне кільце і штамнують, як правило, за одну операцію. В процесі штампування нагріта заготівка швидко охолоджується і напрусовується на пуансон. Для полегшення знімання відштампованого днища пуансон, призначений для штампування, виконується з двох часток: грибка і формуючого кільця. Заготівка знімається при ході пуансона вгору. Завершуючі операції передбачають розмітку днищ для підрізування торця і розмітку отворів, підрізування торця і обробку отворів, термообробку, очищення, контроль і таврування.

### **Виготовлення конічного днища**

Конічні днища виготовляють з листової сталі подібно до виготовлення циліндрової обичайки. Чинником, що відрізняється, є те, що гнучка заготовки на листогибочній машині проводиться з розведенням двох нижніх валків на певний кут, що дозволяє надати заготівці конусоподібну форму.

### **Виготовлення фланців**

Заготовки для фланця отримують гнучкою прокату. Технологічний процес виготовлення заготовок по цьому методу полягає в розрізанні смуги або профілю на мірні заготовки, гибці в кільце і стиковій зварці. Далі заготовки піддають механічній обробці, обробляють поверхні ущільнювачів і



внутрішній діаметр фланця. Потім висвердлюються отвори під болти. Фланці штуцерів штампують у відкритих штампах. За один хід преса прошивають отвори і обрізують задирки на кривошипних пресах в комбінованих штампах. Отримані заготовки також механічно обробляють.

Збірка і зварка штуцерів з плоским фланцем. Плоский фланець укладається поверхнею ущільнювача на складальну плиту. По внутрішньому діаметру укладаються підкладки, по товщині рівні величині недовода торця патрубку до поверхні ущільнювача фланця. Патрубок торцем встановлюється у фланець на підкладки. Витримуються перпендикулярність осі патрубка до поверхні ущільнювача фланця, зазор між патрубком і фланцем. Патрубок прихоплюється зваркою і потім приварюється до фланця.

### **Збирання колони**

Технологічний процес збирання і зварки колонної апаратури складається з наступних технологічних операцій:

- збирання і зварка корпусу колони;
- збирання і зварка корпусу теплообмінника;
- розмітка корпусу;
- установка деталей і складальних одиниць сепаратора і інших елементів внутрішньої начинки, що приварюються до корпусу;
- збирання нижнього і верхнього днища;
- контроль положення приварюваних внутрішніх деталей колони і їх зварка з корпусом;
- установка і приварювання штуцерів, люків до корпусу колони;
- установка знімних деталей і складальних одиниць внутрішніх елементів колони;
- збирання і зварка частин корпусу колони, випробування, обробка, і підготовка колони до відвантаження або монтажу у випадку до виготовлення на монтажному майданчику.

Збирання і зварка корпусу колони. При розбивці корпусу колони на складові частини враховуються наступні чинники: секції по довжині мають

бути транспортабельні по залізницях, вага секції колони без встановлених знімних деталей не повинна перевищувати вантажопідйомні можливості заводу-виготівника і підприємства-замовника.

Обичайка, що поступає на збирання, має бути виготовлена відповідно до технічних вимог і мати механічно оброблені і оброблені під зварку, згідно кресленню, кромки. Збирання секцій виконується послідовним нарощуванням обичайок згідно карті розкрою корпусу на стенді збирання кільцевих стиків. Розташування подовжніх швів обичайок повинне унеможливити попадання люків і штуцерів діаметром більше 150 мм на подовжні шви обичайок. Після контролю секція подається на стенд для зварки кільцевих швів. Якість зварних з'єднань контролюється рентгенівськими променями або ультразвуком. Після виправлення дефектів секції поступають на стенд спільної збірки корпусу. Після установки секцій на стенд з метою усунення овальності проводиться калібрування корпусу роз'ємними і нероз'ємними калібрувальними кільцями. З метою фіксації досягнутої після калібрування форми застосовуються бандажні кільця, які встановлюються по кінцях секцій, а також усередині них на відстані 3-4 м одне від іншого. Після збірки і приварювання деталей сепаратора бандажні кільця знімаються, за винятком розташованих поблизу монтажних стиків - ці кільця віддаляються тільки після збірки і зварки секцій корпусу на монтажі.

Після підготовчих операцій проводиться збірка монтажних стиків секцій. Кромки секцій вирівнюються за допомогою струбцин або клинів, а збірка здійснюється на технологічних планках, які встановлюються через 400 - 500 мм. Зібраний корпус колони повинен відповідати наступним вимогам: зсув кромок в кільцевих стиках секцій не повинен перевищувати 0,8 мм; овальність корпусу не більше 10 мм.

Розмітка є основною технологічною операцією, установки внутрішніх устроїв апарату, його люків, штуцерів і інших деталей і складальних одиниць, що істотно впливає на точність. Існують декілька способів розмітки корпусів: за допомогою лінійних вимірювальних інструментів і схилю, за

допомогою теодоліта і гідрорівня, оптична розмітка із застосуванням лазерного візиря. Розмітка корпусу під установку люків, штуцерів і інших складальних одиниць і деталей корпусу колони проводиться шляхом нанесення розмірів від головних осей корпусу колони відповідно до креслення і його карти розкрою. Зовнішня розмітка корпусу має бути строго узгоджена з його внутрішньою розміткою.

Установка зовнішньої арматури. Після розмітки корпусу проводиться вирізка отворів для установки люків, штуцерів і інших елементів арматури колони. Вирізку отворів під люки і штуцери, розташовані поблизу від стиків днищ з корпусом проводять після приварювання днищ до корпусу і зварки монтажного стику. Цим усувається вплив місцевої деформації корпусу, пов'язаної з великим об'ємом металу, наплавленого при зварці. Після збірки арматури зварюють внутрішні шви з'єднання арматури з корпусом колони. Щоб зменшити вплив деформації від наплавленого металу зварних швів на точність корпусу, зварку зовнішніх швів з'єднань проводять після установки і приварювання внутрішніх незнімних деталей і складальних одиниць тарілок. Виняток становлять ті зварні з'єднання штуцерів і муфт, які перекриваються при установці внутрішніх устроїв колони, а тому неможливий або утруднений процес зварки вказаних складальних одиниць з корпусом колони і контроль її якості.

Збірка корпусу з днищами і опорою. Перед установкою днищ в корпусі колони мають бути встановлені знімні деталі, не встановлюються деталі, які заважатимуть збірці і зварці днищ з корпусом і монтажних стиків. Верхнє і нижнє днища поступають на збірку зібрані, зварені і оброблені згідно кресленню. Обов'язкове керніння рисок головних осей в місцях стиковки днищ.

Після установки і приварювання днищ з корпусу колони віддаляються калібрувальні і бандажні кільця. Подкладні обичайки зберігаються зазвичай для забезпечення збірки і зварки стиків на монтажі і віддаляються тільки перед завершальним гідровипробуванням колони.

## **7 РЕМОНТ ТА МОНТАЖ**

### **7.1 Ремонт і монтаж ректифікаційної колони**

Підготовка до ремонту проводиться експлуатаційним персоналом. Вивід в ремонт здійснюється за письмовим розпорядженням начальника цеху (або його заступника), в якому указується особа відповідальна за вивід в ремонт і підготовку його до ремонту. Заступник начальника цеху в журналі завдань або розпоряджень по цеху висловлює і підписує порядок виведення устаткування в ремонт.

В об'єм робіт з підготовки устаткування до ремонту входять:

- а) зупинка устаткування з відключенням його від працюючих комунікацій;
- б) звільнення устаткування від продукту з скиданням тиску;
- в) продування устаткування;
- г) від'єднання устаткування від комунікацій за допомогою заглушок.

Перед проведенням ремонту устаткування механік складає дефектну відомість, яка піддається коректуванню в процесі розбирання до ревізії. У дефектній відомості мають бути вказані:

- а) об'єм робіт роздільно по операціях;
- б) витрати робочої сили;
- в) спеціальності і кваліфікація робітників;
- г) необхідні запасні частини і матеріали;
- д) інструменти, оснащення, вантажопідйомне устаткування;
- е) виконавець робіт.

### **7.2 Правила дефектації і методи виявлення дефектів**

У ремонтній практиці розрізняють попередню дефектацію в процесі експлуатації, перед зупинкою на ремонт і дефектацію в процесі спільного і детального розбирання.

Попередня дефектація здійснюється перед зупинкою устаткування на ремонт. Вона передбачає виявлення найбільш вірогідних дефектів і несправностей. При цьому використовуються записи в ремонтних журналах, зроблених в процесі експлуатації, технічного обслуговування і попередніх ремонтів. Попередня дефектна відомість служить організуючим документом для підготовки до ремонту і доповнюється в процесі ремонту.

Поузлова дефектація проводиться при розбиранні устаткування. При поузловій дефектації виявляються відхилення вузлів від заданого взаємного положення.

При подетальній дефектації визначається можливість повторного використання деталей і характер необхідного ремонту. Дефектація вузлів і деталей проводиться тільки після їх очищення.

При дефектації застосовуються наступні види контролю. Зовнішній огляд, обмір і визначення величини зносу, корозії контроль взаємного розташування поверхонь.

Виявлення дефектів невидимих оком (мікротріщин, розшарування металу і т. д.) стан мікроструктури металу, механічних властивостей, якість зварних швів проводиться методами неруйнуючої дефектоскопії (рентгенографія, ультразвук, кольорова, магнітна та інші). Все, виявлені дефекти заносяться у відомість дефектів і усуваються в процесі ремонту.

### **7.3 Зміст ремонтів**

Поточний ремонт - включає наступні роботи:

- 1) усуваються пропуски у фланцевих з'єднаннях, в сальниках арматури;
- 2) ревізія і ремонт арматури, приладів КІП;
- 3) зовнішній огляд комунікація з підтяжкою кріплення;
- 4) внутрішній огляд колони; при необхідності ремонт внутрішніх часток.

Капітальний ремонт - включає в себе наступні роботи:

- 1) всі роботи поточного ремонту;

- 2) ремонт або заміна внутрішніх пристроїв
- 3) вивантаження насадки, перегородка завантаження;
- 4) перевірка стану корпусу, зварних з'єднань і їх ремонт;
- 5) ремонт, випробування арматури;
- 6) заміна прокладок, кріплення
- 7) збірка апарату;
- 8) випробування.

#### **7.4 Розбирання колони**

Суцільнозварні апарати при капітальному ремонті, як правило, не демонтують. Розбиранню і демонтажу піддаються тільки внутрішні пристрої. Розбирання починається з розкриття люків. Спочатку відкривають верхній люк, далі (зверху вниз) відкриваються останні. Після відкриття люків провітрити колону. Демонтувати розбризкуючий пристрій і розподільну тарілку. Провести вивантаження кілець. Розібрати опорні грати насадки і витягнути її через люк. Приступити до огляду колони і її внутрішніх устроїв.

Вивантаження і завантаження насадки

Устаткування і пристосування

- а) підймальний пристрій для підйому бадді з насадкою;
- б) баддя для насадки;
- в) жолоб для завантаження вивантаження насадки;
- г) канат-розтяжка для зменшення коливань бадді при підйомі.

#### **7.5 Організація робіт**

При виконанні робіт по вивантаженню і завантаженню насадки необхідно керуватися відповідними інструкціями. Операції по вивантаженню і завантаженню проводяться спеціальною бригадою. Склад бригади визначається розпорядженням начальника цеху. Персонал бригади підкоряється керівникові бригади, призначеному з числа ІТР. Дані роботи проводяться по наряду-допущенню.

### **7.6 Вивантаження та завантаження насадки**

Вивантаження кілець насадки проводиться через люк діаметром 250 мм в баддю, і транспортуються в спеціально відведене місце. Вивантажені з апарату кільця перебираються і готуються для повторного використання. Робоче місце має бути достатньо освітлене і обладнане вентиляцією.

Завантаження кілець в апарат проводиться через верхній люк за допомогою бадді. Перед завантаженням перевіряють справність утримуючих ґрат і після цього колону наповнюють водою. Завантаження проводять через спеціальний рукав або жолоб. Після завантаження встановити розподільник рідини.

### **7.7 Ремонт колони**

Перед проведенням ремонту механік цеху повинен підготувати необхідні матеріали, запасні частини, слюсарно-монтажний і вимірний інструмент, оснащення такелажу і так далі. Демонтувати термоізоляцію зміювика обігріву нижньої частини колони і інших місцях, де ізоляція перешкоджає виконання робіт. Ремонт починається з візуального огляду. Якщо в процесі огляду виникли сумніви щодо якості зварного шва або виникли підозріння на тріщину, то удаються до неруйнуючих методів контролю. Контроль якості різьб різьбових з'єднань проводять за допомогою різьбомірів. Основними дефектами, що виникають в процесі експлуатації колони є:

- 1) корозійний знос корпусу, зварного шва, футерування кришок люків;
- 2) тріщини (як в зварних швах так і в металі корпусу або футерування);
- 3) кора, свищі в зварних швах;
- 4) вихід з ладу арматури;
- 5) зменшення товщини стінки, футерування унаслідок корозії ;
- 6) обрив внутрішніх устроїв.

Всі ці дефекти виявляються в процесі огляду і усуваються. По характеру виявленого дефекту встановлюють спосіб ремонту.

### 7.8 Ремонт дефектів за допомогою зварювання

Виявлені в зварних швах пори, свищі, корозія завглибшки більш 1 мм вишлифовують на всю глибину дефекту з плавним переходом до основного металу. При шліфуванні шліфмашиною не допускається перегрів металу. Потім проводиться контроль якості вишлифовки дефекту за допомогою кольорової дефектоскопії. При отриманні позитивного результату перевірки проводять заварку. Тріщини перед вишлифовкою необхідно засверливати по кінцях, щоб уникнути їх подальшого розповсюдження. Крізні тріщини в обичайці корпуси, товщина яких не перевищує 15 мм дозволяється варити однобічним швом, при товщині стінки більше 15 мм - 2-х стороннім швом. Після закінчення зварки необхідно провести контроль якості зварки. Контроль якості зварки проводиться візуально і неруйнуючими методами контролю (кольорова дефектоскопія, радіаційні методи). Крізні дефекти у футеруванні люків і верхньої кришки апарату усувають вирізний дефектної ділянки і вваркою латки. Після визначення кордонів дефектної ділянки проводять його вирізку. Вирізка проводиться механічним способом. Визначається глибина корозійного пошкодження основного металу і кордону пошкодженої ділянки. Проводиться очищення ділянки від іржі шліфувальною машинкою з подальшою перевіркою на відсутність тріщин. Відновлюється дана ділянка наплавленням. Кромка футерування обробляється для отримання технологічного вуса довжиною не менше 5 мм і товщиною не менше 1 мм. Технологічний вус виконує роль підкладної смуги, що усуває можливість зварювання футерування з основним металом. Кромки вставки готують аналогічним чином і проводять зварку. Після закінчення зварки проводять контроль якості зварних з'єднань способами вказаними вище.

Якщо в процесі огляду деталей колони і її зварних швів виявлені незначні дефекти (кратери, пори, корозійні виразки) завглибшки до 1 мм їх усувають вишлифовкою без подальшої подварки.



Зварювальні роботи повинні проводитися згідно технології розробленою лабораторією зварки і затвердженою головним механіком підприємства.

### **7.9 Ремонт корпусу колони**

Провести внутрішній огляд зварних швів. Особливо уважно оглянути зварні шви нижнього і верхнього днищ, люків. Оглядати з допомога лупи 5-10 кратного збільшення. При необхідності контроль якості зварних швів провести за допомогою неруйнуючих методів контролю. Виявлені дефекти (тріщини, раковини, витравлення зварних швів, точкова корозія) вишлифовують з плавним переходом до здорового металу. При вишлифовке не можна допускати перегріву металу. Після вишлифовки оброблені місця перевірити методом кольорової дефектоскопії, чи немає залишкових дефектів. При отриманні позитивного результату провести черінь-вариво з подальшим контролем якості зварки методом кольорової дефектоскопії. Технологія зварки і зварювальні матеріали мають бути узгоджені з головним зварювальником підприємства і затверджені головним механіком. Перевірити якість зварних швів опорних лап методом кольорової дефектоскопії, виявлені дефекти усунути. Виявлені в корпусі тріщини усувають заваркою. При цьому за допомогою кольорової дефектоскопії встановлюють кордони тріщини. На кінцях тріщини просвердлюють отвори, щоб не допустити її розповсюдження. Після засверловки кінців тріщину "обробляють" під зварку. Некрізні тріщини обробляють під зварку однобічним обробленням кромки під кутом 50-60° на максимальну глибину тріщини. Крізні тріщини або некрізні, але завглибшки більше 0,4 товщини стінки, слід обробляти на всю товщину. Крізні тріщини при значній розбіжності кромки або гнездообразные тріщини ремонтують шляхом установки латок. Латки встановлюють також в місцях значного корозійного зносу. Визначивши кордони пошкодження, намічають контур вирізу. Розмір латки повинен перевищувати пошкоджену ділянку на 100-150 мм. Латка

вирізується з того ж металу і такої ж товщини, що і ремонтвана стінка. Латку вальцюють, радіус вальцювання перевіряють шаблоном (має бути на 10 % менше за необхідне). Латки повинні встановлюватися тільки встык.

Провести виміри товщини корпусу колони. При виявленні зменшення товщини подальша експлуатація колони допускається тільки після проведення перевірного розрахунку на міцність.

Оглянути люків і штуцерів, на поверхнях ущільнювачів фланців не повинно бути дефектів. Дефекти завглибшки до 0,5 мм вишліфовують, глибші усувають проточкою. При виявленні на поверхнях ущільнювачів фланців неусувних дефектів їх замінюють. Фланці зрізати бажано шліфмашинкою, не допускаючи перегріву металу. Оглянути зварні шви утримуючих кронштейнів поворотного пристрою люків, приварювання люків і штуцерів. При необхідності провести контроль неруйнуючими методами. Виявлені дефекти швів (раковини, тріщини і ін.) усунути підваривом, провівши заздалегідь оброблення дефектних ділянок. Уважно оглянути кріплення. Шпильки і гайки з витягнутим або зім'ятим різьбленням замінити. Невеликі задирки виводяться обпилюванням. Провести заміну прокладок на нових.

### **7.10 Розбрикувач**

Після демонтажу оглянути перфорацію і прочистити отвори якщо вони забиті. Провести візуальний огляд зварних швів зміцнюючих косинок, кілець, піддону.

При виявленні раковин, корозії і інших дефектів провести їх вишліфовку з подальшим підваром. При виявленні тріщин необхідно виявити її розміри методом кольорової дефектоскопії. Засверліть її кінці, провести оброблення і заварити. Оглянути плакуючий шар верхньої кришки і його зварні шви. Зварні шви перевірити методом кольорової дефектоскопії. Виявлені дефекти усунути шляхом підварива. Оглянути поверхню ущільнювача кільця кришки. Виявлені дефекти риски, задирки, забоїни

усуваються шліфівкою (завглибшки 0,5мм) або проточкою (до 1,5 мм). Оглянути кріплення вузла розбризкувача. Шпильки і гайки з витягнутим різьбленням або її зім'яло замінити. Невеликі забоїни усунути шляхом обпилювання. Ці ж вимоги відносяться і до фланців. На поверхнях ущільнювачів лінзи і наставок дефекти недопустимі. Чистота обробки цих поверхонь має бути не менше 8 класу. При виявленні тріщин в лінзі її замінюють. Поверхневі тріщини, ризики, подряпини виявлені на неробочих поверхнях лінзи, при їх глибині не більше 1,5 мм, мають вишліфувати з плавним переходом до основного металу. Чистота обробки по 7 класу. Якщо при огляді футерування виявлені крізні тріщини або корозія те ремонт проводять таким чином. Дефектну ділянку футерування вирубують. Проводять підвариво пошкоджених ділянок основного металу. Вирізають вставку з неіржавіючого металу для ремонту футерування. Кромки вставки і футерування обробляють так, щоб вийшов технологічний вус. Технологічний вус повинен виконувати роль підкладної смуги, щоб уникнути проварювання футерування і основного металу. Потім проводять зварку.

### **7.11 Розподільні грати**

Оглянути зварні шви приварних планок до корпусу. Виявлені дефекти (тріщини, корозія, раковини) вишліфувати і провести підвариво. Також перевірити якість зварних швів смуг між собою. Дефекти усуваються також, як вказано вище. Перевірити стан різьблення біля болтів і гайок. Болти і гайки з витягнутим і зім'ятим різьбленням необхідно замінити.

### **7.12 Змійовик обігріву нижньої частини колони**

Зняти теплоізоляція і встановити заглушку на штуцерах входу пари в змійовик (Т-6). До штуцерів виходу конденсату підключити гідропрес. Заповнити змійовик водою і провести гідровипробування пробним тиском 9 кгс/см . Після 10 мин. витримки скинути тиск до робітника (6 кгс/см ) і оглянути змійовика. При огляді особливу увагу приділити зварним швам.

Дефектні шви вирізують і проводять обварювання. Дефектні трубки вирізують і вварюють нові. Дефектні ділянки трубок зміювика також вирізують і вварюють катушки.

### **7.13 Утримуючі грати насадки**

Оглянути зварних швів. Виявлені дефекти (тріщини, раковини, корозія) вишліфовують і проводять підвариво. Перевірити Деталі кріплення даного вузла. Болти з витягнутим різьбленням зношеними гранями голівки, зім'ятим різьбленням замінюють новими. Гайки з вищезгаданими дефектами також підлягають заміні.

### **7.14 Краплевідбійник, розподільний пристрій з днищем**

Ремонт даних вузлів зводиться до усунення дефектів, виявлених зварних швах і металі деталей. Уважно оглянути зварні шви вузлів. Виявлені дефекти (тріщини, раковини, корозія) вишліфовують і підвариваються. Неглибока корозія в металі деталей вузла (до 1 мм) усувається вишліфовкою. Глибша місцева корозія металу усувається вишліфовкою з подальшою заправкою. Крізні дефекти (тріщини, крізна корозія) металу даних деталей усувають таким чином:

- 1) крізні тріщини обробляють під 2-х сторонню зварку і підварюють;
- 2) ділянки з крізною корозією вирізують і вварюють вставку.

### **7.15 Ремонт арматури**

Ремонт арматури може виконуватися безпосередньо на місці її установки або в майстерні. При знятті арматури необхідно зробити позначки на її корпусі і фланцях трубопроводу для того, щоб знати, з якого місця вона знята. Найбільш поширеними причинами виходу з ладу арматури, є порушення герметичності унаслідок корозії, забоїн, вм'ятин на ущільнюючих поверхнях. При ремонті арматури проводяться наступні операції:

- 1) відновлення зношених або зруйнованих поверхонь ущільнювачів затвора;
- 2) відновлення шпинделя і деталей, що сполучаються з ним;
- 3) заміна сальникового ущільнення;
- 4) відновлення поверхонь ущільнювачів фланців;
- 5) відновлення корпусу;
- 6) гідровипробування.

Розбирання арматури здійснюється в такій послідовності:

- 1) знімається маховик;
- 2) знімається кришка і розбираються деталі затвора вийняті з кришкою.

Після розбирання всі деталі промиваються в керосині і досуха витираються.

Корпус вентиля або засувки оглядається для виявлення дефектів (раковин, тріщин і інших). Некрізні дефектні місця в корпусі обробляють на всю глибину до чистого металу. Перед обробленням тріщин на їх кінцях свердяться отвори діаметром 8-10 мм. Після підготовки дефектні місця підварюють. Міцність корпусу перевіряють гідравлічним випробуванням.

На поверхнях ущільнювачів затвора дефекти не допускаються. Виявлені дефекти завглибшки до 0,5 мм усувають шліфівкою з подальшим притиранням. Дефекти завглибшки більше 0,5 мм усувають попереднім обробленням дефектного місця і наплавленням на нього металу з подальшою обробкою. Поверхня ущільнювача шпинделя має бути дзеркально гладкою. Вм'ятини і задираки завглибшки 0,08-0,15 мм усувають притиранням. Кривизна шпинделя не повинна перевищувати 0,05 мм на всю довжину. Поверхні ущільнювачів фланців не повинні мати дефектів. Дефекти завглибшки до 0,5 мм усуваються вишліфівкою. Глибші дефекти (до 1,5 мм) проточкою. Після закінчення ремонту і збірки арматури її піддають гідравлічному випробуванню на міцність і щільність. Випробування є остаточною перевіркою якості ремонту.

### **7.16 Збирання колони**

Збирання колони проводиться в наступній послідовності:

- 1) після усунення всіх виявлених дефектів на не розбірних внутрішніх пристроях проводять збирання грат, що утримуючих насадку;
- 2) провести завантаження насадки;
- 3) встановити верхню сітку сдою насадки;
- 4) провести збірку розподільних грат;
- 5) змонтувати розбризкуючий пристрій;
- 6) закрити люк і провести збирання фланцевих з'єднань. Допустима величина не паралельності фланцевих з'єднань складає 10 % від товщини прокладки.

### **7.17 Прийом апарату з ремонту**

Прийом апарату з ремонту в експлуатацію проводиться після виконання всіх робіт, передбачених відомістю дефектів і проведення випробувань. Робочі майданчики мають бути прибрані від матеріалів, сміття. При цьому необхідно керуватися інструкцією СПО-56. Відремонтований апарат після випробувань приймається в експлуатацію з підписанням акту форма № 4А-МК. Без оформлення акту і 2-х сторонньому підпису, експлуатація апарату забороняється. Після підписання акту про ухвалення устаткування з ремонту механік цеху зобов'язаний зробити запис про проведений ремонт в ремонтну книгу.

### **7.18 Монтажні роботи колонної апаратури**

На початок виконання монтажних робіт мають бути проведені наступні підготовчі роботи:

- затверджені і передані монтажною організацією проектно-кошторисна документація і проект виробництва робіт;
- підготовлені приоб'єктні склади і майданчики для збільшувального збирання устаткування, трубопроводів, металоконструкцій.

- споруджені постійні і тимчасові під'їзні шляхи для подачі устаткування в монтажну зону і пересування кранів; підготовлені тимчасові інвентарні, санітарно-побутові і виробничі будівлі необхідні для виконання монтажних робіт.

- прокладені магістральні і розводящі мережі і встановлені підключаючі пристрої для подачі електроенергії, води, пари.

- змонтовано освітлення в зоні монтажу;

- доставлено устаткування, трубопроводи, металоконструкції і матеріали;

- виконані необхідні будівельні роботи, зроблені монтажні отвори, встановлені заставні вироби, посилені при необхідності будівельні конструкції.

### **7.19 Перевірка і приймання фундаменту під монтаж колони**

Відповідно до норм і правил виробництва робіт в будівництві фундаменти мають бути звільнені від опалубки і очищені від будівельного сміття. На фундаментах і опорних конструкціях мають бути нанесені осі і висотні відмітки, що визначають проектне положення устаткування. Висотні відмітки фундаменту для установки устаткування, що вимагає бетонної підливки опорної частини має бути 50-60 мм нижче за проектну відмітку. У фундаментах мають бути виконані колодязі або прорубані свердловини під фундаментні болти, що закріплюються клеєм і цементними сумішами і встановлені фундаментні болти і заставні деталі, згідно робочим кресленням. Виступаючі за фундамент кінці фундаментних болтів мають бути очищені від корозії.

При прийманні фундаменту під монтаж повинна одночасно передаватися виконавча схема розташування фундаментних болтів, застав і інших деталей для кріплення устаткування.

При прийманні по головних осях фундаменту натягують струни, положення яких визначають по схилах, прикріплених до струн і зафіксованих

відносно рисок на відповідних заставних деталях фундаменту. Особливу увагу необхідно приділяти перевірці правильності розташування і розмірам анкерних колодязів.

### **7.20 Підйом колони і установка в проектне положення**

Монтаж колони здійснюється в повністю зібраному вигляді, способом ковзання низу колони. При підйомі колони з ковзанням її опорної частки по землі встановлюють щогли по обидві сторони від фундаменту. Апарат, що піднімається, заздалегідь підтягають тракторами можливо ближче до фундаменту, так, щоб його вісь була перпендикулярна площині обох щогл. Потім, використовуючи пристрої для строповки, здійснюють строповку апарату. При підйомі верху колони опорна частка наближається до фундаменту, ковзаючи по заздалегідь підготовленій підставі на черевіку, що оберігає опорні конструкції від поломки і деформації. Щоб регулювати рух опорної частки і запобігти тим самим ривкам або ударам по фундаменту, нижню частку апарату страхують відтяжним тросом. Коли вісь апарату наближається до вертикального положення, опорну частку відривають від землі. Далі апарат піднімають над фундаментом, за допомогою відтяжних тросів дають йому проектну орієнтацію і опускають на фундамент. Перш ніж звільнити апарат, закріплений на крюку крана, його вивіряють по висоті і на вертикальність. Оскільки апарат вмонтовується з ізоляцією, то до ізоляції на корпусі апарату приварюють бобишки з різьбленням, в які угвинчуються репери, розташовані на апараті аналогічно ризикам і промовці над ізоляцією. Відхилення від вертикалі не повинне перевищувати 15 мм. Вивірений апарат фіксують, затягуючи гайки фундаментних болтів. Будівельна організація під спостереженням представника монтажної організації підливає апарат бетонною сумішшю на протязі 30 хвилин. Після закінчення підливки апарат вивіряють. Остаточне затягування фундаментних болтів вирішується не раніше чим через 7 діб після підливки і досягнення міцності не менше 120 кгс/см<sup>2</sup>.



## ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі розглянута стадія рециркуляції в виробництві карбаміду та розроблена ректифікаційна колона-сепаратор.

Виходячи з умов роботи і характеристик робочого середовища підібрані конструкційні матеріали. Роботоспроможність колони підтверджена розрахунками на міцність, які виконані згідно з діючою в хімічному машинобудуванні нормативно-технічною документацією і підтверджують працездатність розробленого обладнання.

Виконано конструктивний розрахунок, в ході якого визначено основні розміри колони;

- 1) діаметр колони - 1800 мм;
- 2) висота колони - 7550 мм;

Розглянуті питання технології виготовлення колони, ремонт і монтаж обладнання.

Виконана графічна частина: загальний вигляд колони, технологічна схема ректифікаційної установки, складанні одиниці апарату.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. 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.
2. 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.
3. 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". 2000-.89 с.
4. Вихман Г. Л., Круглов С. А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. «Машиностроение», 1978 г. 326 с.
5. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Изд. 2. В 2-х кн. Часть 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. — 368 с.
6. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра (для здобувачів вищої освіти за спеціальностями 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування») (Електронне видання) / Укладачі О .С. Кроль, О. В. Романченко, Т .О. Шумакова, О. М. Логунов, О. В. Сергієнко, В. І. Соколов. – Северодонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2021. 150 с.
7. Методичні вказівки до вибору конструкційних матеріалів для сталевих зварних посудин і апаратів для студентів спеціальності 7.090220/ Сост. А. І. Барвін, І. М. Генкина, В .В. Іванченко, Д. А. Куликів, В. Г. Табунціков, Ю. Н. Штонда. – Северодонецьк, СТІ, 2003. – 41 с.
8. Методичні вказівки до розрахунку циліндрових обичайок сталевих зварних посудин і апаратів для студентів спеціальності 7.090220 /

Сост. А. І. Барвін, І. М. Генкина, В. В. Іванченко, В. Г. Табунціков, Ю.Н. Штонда. – Сєвєродонецьк, СТІ, 2002. – 83 с.

9. Розрахунок опуклих і плоских днищ і кришок, конічних обичайок, днищ і переходів сталевих зварних посудин і апаратів. Методика і приклади розрахунку / Сост. А. І. Барвін, І. М. Генкина, В. В. Іванченко, Д. А. Куліков, В. Г. Табунціков, Г. В. Тараненко, Ю. Н. Штонда. – Сєвєродонецьк, СТІ, 2003. – 122 с.

10. Методичні вказівки до розрахунку на міцність зміцнення отворів в обичайках, переходах і опуклих днищах сталевих зварних посудин і апаратів для студентів спеціальності 7.090220 / Сост. А. І. Барвін, І. М. Генкина, В. В. Іванченко, В. Г. Табунціков, Ю. Н. Штонда. – Сєвєродонецьк, СТІ, 1999. – 24 с.

11. Методичні вказівки до вибору фланцевих з'єднань посудин і апаратів для студентів спеціальності 7.090220 / Сост. А. І. Барвін, В. В. Іванченко, І. М. Генкина, В. Г. Табунціков, Г. В. Тараненко, Ю. Н. Штонда. – Сєвєродонецьк, СТІ, 2006. – 96 с.

12. Фланці арматури, з'єднувальних частин і трубопроводів: Навч. посібник. – Сєвєродонецьк, Від-во Сєвєродонецького технологічного інституту, 2006. – 172 с.

13. Розрахунок на міцність, жорсткість і герметичність фланцевих з'єднань посудин і апаратів. Методика і приклади розрахунку / Сост. А. І. Барвін, В. В. Іванченко, І. М. Генкина, В. Г. Табунціков, Г. В. Тараненко, Ю. Н. Штонда. – Сєвєродонецьк, СТІ, 2005. – 67 с.

14. Методичні вказівки до вибору стропових пристроїв для сталевих зварних посудин і апаратів в курсовому і дипломному проектуванні. – Сєвєродонецьк, СТІ, 1994. – 28 с.

15. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Приклади і завдання по курсу процесів і апаратів хімічної технології. – Л.: Хімія, 1987.-576с.

16. ГОСТ 6533 - 78. Днища еліптичні відбортовані сталеві для посудин, апаратів і казанів. Основні розміри.

17. ГОСТ 8734 - 74. Труби безшовні горячедеформовані. Технічні вимоги.
18. ГОСТ 8732 - 74. Труби сталеві безшовні горячедеформовані. Сортамент.
19. ГОСТ 12619 - 78. Днища конічні відбортовані з кутами при вершині 60 і 90°. Основні розміри.
20. ГОСТ 28759.5 - 90. Фланці посудин і апаратів. Технічні вимоги.
21. ГОСТ 28759.6-90. Прокладки з неметалічних матеріалів. Конструкція і розміри. Технічні вимоги.
22. ОСТ 26 - 2002 - 83. Люки з плоскими кришками сталевих зварних посудин і апаратів. Конструкція.
23. ОСТ 26 - 2008 - 83. Кришки плоскі люків сталевих зварних посудин і апаратів. Конструкція і розміри.
24. АТК 24. 200.02 - 90 Заглушок фланцевих сталевих. Конструкція, розміри і технічні вимоги, 2001. – 50 с.