

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	<u>4</u>
Вступ.....	<u>6</u>
1 Аналітичний огляд.....	<u>9</u>
2 Технологічна частина.....	<u>14</u>
3 Опис конструкції теплообмінника.....	<u>31</u>
4 Вибір основних конструкційних матеріалів.....	<u>32</u>
5 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість.....	<u>33</u>
6 Технологія виготовлення теплообмінника	<u>42</u>
7 Ремонт і монтаж устаткування.....	<u>47</u>
8 Охорона праці й техніка безпеки.....	<u>52</u>
9 Промислова екологія.....	<u>65</u>
Висновки.....	<u>69</u>
Перелік джерел посилання.....	<u>70</u>
Додатки.....	<u>72</u>

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

$Q_{\dot{i}}$ - теплові втрати в навколишнє середовище

Q_z, Q_x - теплові потоки відповідно – що віддається першим теплоносієм і що приймається другим теплоносієм, Вт

$G_{\dot{a}}$ - масова витрата гарячого теплоносія, кг/с.

t_n^z, t_k^z - початкова і кінцева температури гарячого теплоносія, °С

t_n^x, t_k^x - початкова і кінцева температури холодного теплоносія, °С

μ_x - динамічна в'язкість газу, Па·с

ρ_x - густина газу, кг/м³

P – розрахунковий тиск, МПа

S_p – розрахункова товщина стінки корпусу апарата, мм

C – сума збільшень до розрахункової товщини, мм

D - діаметр апарату, м

НВ – твердість за Брінелем

НРС – твердість за Роквелом

σ_T - межа плинності матеріалу, МПа

T – температура, К

σ_s - напруження плинності, МПа

σ_b – границя міцності, МПа

σ_t – границя текучості, МПа

$\sigma_{0,2}$ – умовна границя текучості, МПа

σ_{-1} – границя втоми, МПа

ψ – відносне звуження, %

S_p - розрахункова товщина укріплюваного елемента, мм

D_p - розрахунковий діаметр укріплюваного елемента, мм

C_s - сума надбавок до розрахункової товщини стінки штуцера, *мм*

E_n - умовний модуль стискування прокладки, *МПа*

E - модуль поздовжньої пружності, *Па*

$[\sigma]$ - напруга допустимого вигину, *МПа*

$R_{p0,2}, R_{p0,2}^{20}$ - мінімальне значення умовної границі текучості матеріалу фланця відповідно при розрахунковій і температурі 20°C, *МПа*

R_m, R_m^{20} - мінімальне значення тимчасового опору (межі міцності) матеріалу фланця відповідно при розрахунковій і температурі 20°C, *МПа*

K – кратність повітрообміну

V – об'єм робочого приміщення, *м³*

a, b, h – відповідно довжина, ширина, висота ЦПУ, *м*

ВСТУП

Метанол (метиловий спирт) — один з найважливіших за значенням і масштабом виробництва продукт, що виробляється хімічною промисловістю. Цікаві етапи вивчення метанолу, як самої речовини, так і розвитку способів його виробництва. Вперше виявлений Боулем в 1661 р. в продуктах сухої перегонки деревини, метанол в чистому вигляді був виділений лише через два сторіччя, в 1834 р., Думасом і Пеліготом. В цей же час була встановлена і його хімічна формула. А в 1857 р. Бертло синтезував метанол обмиленням метилхлориду. У 60-х роках в Англії був розроблений і освоєний промисловістю синтез метанолу під тиском близько 5 МПа на мідьмістящому низькотемпературному каталізаторі. Це підняло виробництво метанолу на новий технічний рівень, спростило апаратне оформлення стадії синтезу, поліпшило якість метанолу-сирцю і економічні показники процесу. У 70-і роки у зв'язку з розробкою крупних одноагрегатних виробництв метанолу потужністю до 400—750 тис. т на рік тиск на стадії синтезу при використанні мідьмістящих каталізаторів був піднятий до 8-10 МПа.

Нині практично всі виробництва метанолу засновані на синтезі його з оксидів вуглецю і водню у присутності низькотемпературних каталізаторів під тиском 5-10 МПа.

Перше виробництво метанолу в СРСР було створене в 1934 р. на хімічному комбінаті у Новомоськовську. Сировиною служив водяний газ, що отримується газифікацією коксу. Синтез проводили під тиском 25 МПа на цинк-хромовому каталізаторі, ректифікацію здійснювали періодично. У післявоєнний період було створено декілька виробництв з агрегатами потужністю 25—30 тис. т/рік під тиском 30—32 МПа. Ці агрегати комплектувалися в основному устаткуванням, призначеним раніше для інших цілей. У 60-і роки були розроблені і побудовані агрегати для виробництва метанолу потужністю 35—40 тис. т/рік, і синтез здійснювали під тиском 31 МПа на цинк-хромовому каталізаторі з газу, отриманого парокисневою конверсією природного газу. Ці агрегати відображали всі досягнення того часу в області синтезу метанолу під високим тиском. У цей же період був досліджений, а в 70-і роки реалізований на практиці оригінальний про-

цес отримання метанолу з синтез-газу, виробництва ацетилену, що є відходом, під тиском 5 МПа на мідьмістятьм каталізаторі. Потужність таких агрегатів, визначується ресурсом синтез-газу, складає 100 – 115 тис. т/рік. Такі темпи зумовили подальше збільшення одиничної потужності агрегатів.

В даний час знаходяться у стадії будівництва агрегати для виробництва метанолу на базі природного газу потужністю 750 тис. т/рік з синтезом на мідьмістятьм каталізаторах під тиском 8-10 МПа.

Інтенсивний розвиток виробництва метанолу обумовлюється різноманітними сферами його застосування, що постійно розширюються. У народному господарстві навряд чи знайдеться інший органічний продукт, що має таке широке коло споживачів,.

Метанол є одним з найважливіших продуктів органічного синтезу. У зв'язку з розширенням сфери його застосування, нині до цього продукту виявляється особливий інтерес. Метанол є сировиною для отримання таких важливих продуктів, як формальдегід, оцтова кислота, метиламіди. Так само метанол може використовуватися як добавка до палив (теплотворна здібність метанолу приблизно вдвічі менше, ніж у бензину, але метанол володіє високим октановим числом); може застосовуватися як пальне на електростанціях, як замітник автомобільного бензину або в суміші із ним.

Метанол є сировиною для виробництва формальдегіду, диметилтерефталату, метилметакрилату, пентаеритриту, синтетичного каучуку ізопрену. Метанол використовується у виробництві фотоплівки, різних амінів, полівінілхлоридних, карбамідних і іонообмінних смол, у виробництві барвників і напівпродуктів, як розчинник, у тому числі в лакофарбній промисловості. Великі об'єми метанолу витрачаються для отримання хімікатів, наприклад хлорофосу, фталофосу, карбофосу, метилхлориду і метилбромиду, ацеталів і інших речовин.

Основними виробниками метанолу за кордоном є США, Японія, ФРН, Англія, Франція, Італія. Останніми роками організуються великотоннажні виробництва метанолу в країнах, багатих природним і нафтовими газами. Це пов'я-

зано з перспективою використання метанолу для енергетичних цілей і перевагами його транспортування в порівнянні з природним газом.

Відомо декілька способів отримання метанолу: суха перегонка деревини і лігніну; термічне розкладання солей мурашиної кислоти; синтез з метану через метилхлорид з подальшим обмиленням, і, нарешті, неповне окислення метану на каталізаторах або без каталізаторів під тиском [1].

У даній роботі пропонується схема синтезу метанолу з синтез-газу під тиском 5,3 МПа на мідьмістящому каталізаторі. Потужність агрегату складає 108 тис. тон на рік.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Метанол (метиловий спирт) – один з найважливіших за значенням і масштабом виробництва продукт, що виробляється хімічною промисловістю. Вперше виявлений Боулем в 1661 р. в продуктах сухої перегонки деревини, метанол в чистому вигляді був виведений лише через два століття, в 1834 р., Думасом і Пеліготом. В цей же час була встановлена і його хімічна формула. А в 1857 р. Бертло отримав метанол обмиленням метилхлорида.

Метанол можна отримувати декількома способами: сухою перегонкою деревини; термічним розкладанням солей мурашиної кислоти; синтезом з метану через метилхлорид з подальшим обмиленням і неповним окисненням метану на каталізаторах або без каталізаторів під тиском. Перший промислово освоєний метод – отримання метанолу сухою перегонкою деревини. Протягом довгого часу метанол отримували з водного дистиллата, що виділяється при сухій перегонці деревини (звідси і назва – деревний спирт). У 1934 р. в СРСР була пущена перша установка по отриманню метанолу з синтез-газа і в даний час цей метод (синтез метанолу з оксидів вуглецю і водню на каталізаторах) є основним.

Продуктивність перших агрегатів синтезу метанолу складала 25-30 тис. т/рік. Синтез проводився під тиском 30-32 МПа на цинк-хромових каталізаторах. Застосування медьсодержащих каталізаторів дозволило отримувати метанол при нижчому тиску (~5МПа) і збільшити продуктивність установок. Для синтезу метанолу можна застосовувати практично будь-який газ, що містить водень і оксиди вуглецю. У перших виробництвах метанолу як сировина використовували тверде паливо – кокс і кам'яне вугілля. З освоєнням хімічною промисловістю нафтових джерел сировини і природного газу початковий газ для синтезу метанолу почали отримувати шляхом крекінгу нафтопродуктів і конверсії метансодержащих газів. Найбільш поширеною сировиною є природний газ і газ нафтопереробки. Широко використовуються для отримання метанолу відхідні газы різних виробництв.

Процес отримання метанолу з оксидів вуглецю і водню включає низку стадій, обов'язкових для будь-якої технологічної схеми синтезу метанолу, які ро-

зрізняються в основному апаратурним оформленням. Газ заздалегідь очищається, потім підігрівається до температури початку реакції і поступає на контакт.

Потрібно відзначити, що в крупних агрегатах синтезу метанолу температуру в шарі каталізатора зазвичай не регулюють постійним теплоносієм, уникаючи, мабуть, ускладнення конструкції апарату. Можна використовувати велику кількість низькопотенційного тепла, встановивши теплообмінники (котли) між газовим теплообмінником колони і конденсатором. Прикладом такого рішення є технологічна схема фірми BASF (Німеччина).

Синтез проводять при тиску 25-30 МПа і температурі 360-380°C на каталізаторі фірми. Схема має один агрегат синтезу метанолу потужністю 700 тонн на добу (240 тис. тонн на рік). Як сировина використовується легкий бензин каталітичного крекінгу нафти.

Початковий газ стискується турбокомпресором, четвертий ступінь якого служить і для додаткового компримювання циркуляційного газу. Змішаний газ поступає в теплообмінник, де підігрівається теплом газів, що відходять від колони. Основний потік газу з теплообмінника прямує в колону через вбудований теплообмінник і поступає на першу полицю колони. Менша частка газу вводиться в неї у вигляді байпасів, в даній схемі в підігрітому стані.

Введення в схему теплообмінника дозволяє встановити котел-утилізатор для отримання пари за рахунок тепла газів, що виходять з колони після теплообмінника. Таким чином, газ, що виходить з каталізаторної зони, минає послідовно три ступені теплообміну і потім поступає в повітряні холодильники-конденсатори. Сконденсований метанол і вода відділяються в сепараторові і збираються в збірці.

Широкого поширення набувають технологічні схеми синтезу метанолу на низькотемпературних каталізаторах при зниженому тиску. Процес проводять в основному при тиску 5-10 МПа на трикомпонентних мідних каталізаторах з циркуляцією газу турбо циркуляційними машинами. Для приводу компресора від парової турбіни використовують пару, що отримується безпосередньо на установці.

Початковий газ для синтезу метанолу на низькотемпературних мідьмістящих каталізаторах має бути ретельно очищений від каталітичних отрут (сіра, хлор). У природному газі міститься 10-300 мг/м³ сірчистих з'єднань, а зміст їх в газі для синтезу не повинно перевищувати 0,5 мг/м³. Вміст сірки при цьому в свіжому газі (исходный+циркуляционный) повинно бути не більше 0,15 мг/м³. У зв'язку з цим представляє великий інтерес схема синтезу метанолу з синтез-газа, ацетилену, що відходить з виробництва, оскільки сірчисті з'єднання природного газу абсорбуються розчинником ацетилену. Схема виробництва метанолу з синтез-газа компактна і високоефективна. Потужність виробництва визначається ресурсом газу і зазвичай складає 100-110 тис. тон на рік.

Синтез-газ стискується турбокомпресором, минає тонке очищення від пари розчинника ацетилену у вугільному фільтрі і змішується з циркуляційним газом. Для регулювання співвідношення регулюючих компонентів в синтез-газ додається газ з високим вмістом водню, наприклад продувальний газ з виробництва метанолу під високим тиском. Циркуляція газу забезпечується відцентровим компресором. Циркуляційний газ через теплообмінник і електропідігрівач поступає в шахтний реактор синтезу. Відведення тепла реакції проводиться подачею в шар каталізатора холодного газу, який розподіляється за допомогою спеціальних сконструйованих камер змішення.

Температура газу на вході в реактор 205-225°C, максимальна температура в шарі каталізатора 290°C. Циркуляційний газ, що виходить з реактора, віддає тепло газу, що поступає в реактор в повітряні холодильники-конденсатори. Метанол, що сконденсувався, вода і інші побічні продукти відділяються в сепараторові. Метанол-сирець із збірки прямують на ректифікацію. Циркуляційний газ з сепаратора повертається на всмоктуючу лінію циркуляційного компресора.

Дану схему можна використовувати для отримання метанолу і з природного газу, заздалегідь очистивши газ від сірки і піддавши його конверсії метану. Недоліком схеми є застосування турбокомпресорів з електроприводами, що приводить до витрачання електроенергії до 800-900 кВт год/т.

Схема синтезу метанолу з агрегатом потужністю 300-400 тис. тонн на рік під тиском 5-9 МПа з газу, отриманого конверсією метану в трубчастих печах. Для приводу дожимаючого і циркуляційного компресорів використовується перегріта пара, отримана безпосередньо в агрегаті.

Початковий газ під тиском 1,2-2,2 МПа компресором 1 стискується до тиску 5,0-9,0 МПа. Тиск до і після компресора обумовлений схемою підготовки газу і тиском в циклі синтезу метанолу. Відмінність схем синтезу метанолу під тиском 5 і 9 МПа полягає у використанні каталізатора: при вищому тиску застосовується декілька менш активний, але більш термостійкий каталізатор. Суміш початкового і циркуляційного підігрівається до температури зачала реакції в теплообміннику рекуперації 6 і поступає в паровий підігрівач, який використовується при розігріванні реактора і при порушеннях технологічного режиму. Нагрітий до 205-225 °С циркуляційний газ прямує в шахтний реактор синтезу, в якому на медьсодержащем каталізаторі протікає процес утворення метанолу. Підтримка температури по шарах каталізатора в реакторі здійснюється введенням холодного газу.

Потужність однієї технологічної лінії в промислових виробництвах змінюється в широких межах. Питома витрата природного газу при цьому відрізняється трохи і визначається в основному способом підготовки природного газу. Переклад виробництва метанолу на низькотемпературні мідні каталізатори привів до зниження тиску в циклі синтезу в 4-6 разів. У зв'язку з цим зменшення продуктивності одиниці об'єму каталізатора в 4-6 разів, одночасне підвищення потужності, наприклад в 10 разів, приводить у результаті до збільшення об'єму каталізатора і відповідно реактора в 34 рази.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування вибраного методу виробництва і устаткування

Виходячи з аналітичного огляду існує декілька способів отримання метанолу: суха перегонка деревини і лігніну; термічне розкладання солей мурашиної кислоти; синтез з метану через метилхлорид з наступним омиленням, і, нарешті, неповне окислення метану на каталізаторах або без каталізаторів під тиском. З перерахованих способів промисловістю освоєно лише отримання метанолу сухою перегонкою деревини. Цей метод, що ще 60 років тому був єдиним освоєним процесом, нині втратив своє промислове значення і витиснений синтезом метанолу з оксидів вуглецю і водню на каталізаторах.

Метанол можна отримувати з різних твердих видів сировини: бурого вугілля, сланців, а також з газів нафтовидобування. Проте найбільш раціональною з погляду технології сировиною для синтезу метанолу є природний газ.

Природний газ містить в своєму складі метан, етан і інші вищі вуглеводні. Сірчисті з'єднання, що містяться в природному газі, як органічні, так і неорганічні, є отрутами для каталізаторів, використовуваних в процесі конверсії і синтезу метанолу. Тому природний газ піддається ретельному очищенню від сірчистих з'єднань.

Органічні сірчисті сполуки спочатку піддаються гідруванню воднем у присутності кобальт-молібденового каталізатора. При цьому органічні сполуки сірки перетворюються на сірководень, який потім поглинається активованим окислом цинку.

Процес отримання синтез-газу, необхідного для синтезу метанолу, заснований на каталітичній конверсії вуглеводнів природного газу з водяною парою в трубчастій печі у присутності каталізатора.

У аналітичному огляді розглядали різні технологічні схеми синтезу метанолу, а саме:

синтез метанолу на цинк-хромовому каталізаторі під тиском 25 – 40 МПа;

синтез метанолу під тиском 40 МПа із відведенням тепла реакції з каталізаторної зони;

синтез метанолу з паровим котлом-утилізатором на конвертованому газі при тиску 25 – 30 МПа і температурі 360 – 380 °С;

синтез метанолу на низькотемпературних каталізаторах при зниженому тиску;

синтез метанолу з агрегатом потужністю 300 – 400 тис. т/рік під тиском 5 – 9 МПа з природного газу, отриманого конверсією метану в трубчастих печах.

Найбільш ефективною є схема синтезу метанолу під тиском 5 МПа і температурі 270 – 300 °С у присутності низькотемпературного мідьмістящого каталізатора. Така схема виробництва метанолу з синтез-газу компактна і високоефективна. Потужність виробництва визначається ресурсом газу і зазвичай складає 100-110 тис. тонн на рік.

Виробництво метанолу енергоємне, тому пропонується для використання низкопотенційного тепла замінити теплообмінник з електродігрівачем у діючому виробництві на теплообмінник рекуперації. Внаслідок застосування теплообмінника рекуперації знижується витрата електроенергії, тобто зменшуються енерговитрати.

У даному дипломному проекті розроблений теплообмінник рекуперації для відділення синтезу метанолу.

Теплообмінник рекуперації складається з двох елементів встановлених послідовно. Теплообмінник служить для нагріву циркуляційного газу і для охолодження парогазової суміші що йде з колони синтезу метанолу.

2.2 Опис технологічної схеми виробництва

Виробництво метанолу складається з наступних стадій:

компримювання природного газу;

двоступінчате очищення природного газу від сірчистих з'єднань (гідрування і поглинання);

каталітична конверсія вуглеводнів очищеного природного газу з водяною парою в трубчастій печі;

охолодження конвертованого газу;

компримювання отриманого синтез-газу з $P=2,0$ МПа (надл.) до $P=5,4$ МПа (надл.) відцентровим компресором з подачею його в цикл синтезу на нагнітання циркуляційного ступеню компресора;

синтез метанолу при тиску $P=5$ МПа;

двохстадійна ректифікація метанолу – сирцю.

Управління основними стадіями процесу централізоване і здійснюється з центрального пункту управління (ЦПУ).

Сірочистка

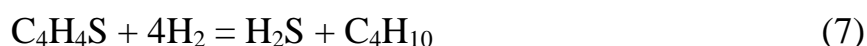
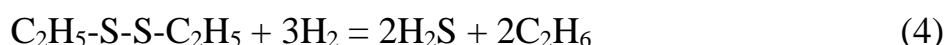
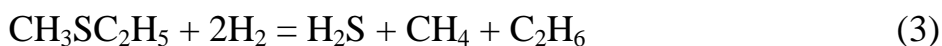
Загальний вміст сірки в природному газі, що поступає на підприємство, складає максимально 16 мг/м^3 . Перед надходженням на конверсію проводиться очищення природного газу від сірчастих з'єднань в два ступені:

на першому ступені відбувається гідрування органічних сполук сірки (меркаптанів, сірковуглеця, окисульфідів вуглецю, дисульфідів, тіофену) до сірководня на кобальтмолібденовому каталізаторі;

на другому ступені відбувається поглинання сірководня оксидом цинку.

В процесі сірочистки забезпечується вміст сіри в природному конвертованому газі не більше $0,2 \text{ мг/м}^3$.

Процес гідрування описується наступними реакціями:



Сірководень, що утворився, поглинається оксидом цинку:



Як воденьмістящий газ для гідрування сіркоорганічних з'єднань передбачається використовувати постійне продування циклу синтезу метанолу. Для здійснення повного гідрування до сировини додаються продувальні гази в кількості, що забезпечує вміст водню 5 % (вміст водню, що рекомендується, 4 – 11%).

Процес гідрування проводиться на кобальтмолибденовом каталізаторі при температурі 350 – 400 °С, тиску до 4,0 МПа. Необхідний об'єм каталізатора в реакторі гідрування складає 12 м³.

Поглинання сірководня, гідрування, що утворилося в результаті, проводиться поглиначами на основі оксиду цинку описується рівнянням реакції (8). Процес протікає в реакторі поглинання при температурі 350 – 400 °С, тиску 2,0 – 5,0 МПа. Необхідний об'єм поглинача складає – 20 м³. Адсорбція сірководня проводиться поглиначами на основі оксиду цинку.

Синтез метанолу

Циркуляційний газ із свіжим газом після циркуляційної ступені компресора із тиском P=5,3 МПа (надлишк.) поступає у відділення синтезу.

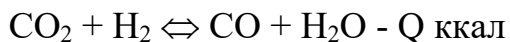
Перед поданням у рекупераційний теплообмінник E1 циркуляційний газ ділиться на два потоки: газ основного ходу та газ “холодних” байпасів.

Циркуляційний газ по основному ходу проходить міжтрубний простір двох послідовно встановлених елементів теплообмінника, де нагрівається до температури 220-240 °С за рахунок теплообміну з газовим потоком, що виходить із реактора синтезу метанолу R1.

Після рекупераційного теплообмінника основний потік циркуляційного газу поступає у реактор синтезу по лінії основного ходу.

У реактор R1 загрузається 25,8 м³ мідьцинкалюмінієвого каталізатора синтезу метанолу, на якому із оксидів вуглецю та водню при тиску 5 МПа і температурі 220-260 °С відбувається утворення метанолу. Процес утворення метанолу описується наступними реакціями:





Реакції утворення метанолу екзотермічні, тому необхідно обмежувати підвищення температури у зоні реакції.

Цього досягають подавання “холодного” газу у реактор з температурою 45÷60 °С через розподільвачі, які ділять каталізатор у реакторі синтезу метанолу на 2 шари.

Температура циркуляційного газу за шарами складає:

	на початок кампанії	на кінець кампанії
I шар		
- на вході	220	240
- на виході	245	260
II шар:		
- на вході	230	240
- на виході	240	255

Циркуляційний газ після реактора R1 з температурою 240-256 °С потрапляє до трубного простору рекупераційного теплообмінника, де охолоджується до температури 96 °С.

Потім циркуляційний газ потрапляє до холодильника-конденсатора E2, який охолоджується оборотною водою, де відбувається конденсація метанолу-сирцю та охолодження газу до температури 40 °С.

Далі газорідинна суміш потрапляє до сепаратора V1, де відбувається виділення метанолу-сирцю від циркуляційного газу.

Після сепаратора для підтримання заданого рівню “інертів” в циклі синтезу метанолу передбачається виведення частки циркуляційного газу з циклу синтезу у вигляді продувочних газів.

Витрати продувочних газів складають 4580÷5180 нм³/год.

Тиск продувочних газів дорівнює P=0,4 МПа (надл.).

Циркуляційний газ після сепаратору направляється на всас циркуляційної ступені компресорної установки.

Метанол-сирець, що виділився у сепараторі потрапляє до збірника метанолу-сирцю, і потім направляється або безпосередньо на стадію ректифікації до колони відгонки легких фракцій або на склад.

Метанол-сирець очищується від механічних домішок на фільтрах високого тиску, розташованих на лінії метанолу-сирцю після сепаратору.

Метанол-сирець очищується від механічних домішок на фільтрах низького тиску, розташованих на трубопроводі метанолу-сирцю після збірника.

Тиск у збірнику метанолу-сирцю підтримується постійним, за рахунок видачі споживачу.

Розігрів каталізатору синтезу метанолу

На байпасі циркуляційного газу у реактор синтезу встановлено пусковий підігрівач ЕЗ, який підтримує заданий рівень температури циркуляційного газу під час розігріву та відновлення каталізатору синтезу метанолу, виводу установки на нормальний технологічний режим, при порушенні автотермічності процесу синтезу. При нормальній роботі у паровий підігрівач постійно подається невелика кількість пари для того, щоб він міг бути відразу включен до роботи при втраті автотермічності у реакторі синтезу.

Під час розігріву каталізатора та проведення процесу відновлення, азотоводнева суміш підігрівається у пусковому підігрівачі ЕЗ за рахунок тепла конденсації перегрітої пари високого тиску $P=4,0$ МПа, $t=240^{\circ}\text{C}$.

2.3 Характеристика сировини та готового продукту

Сировина:

Метанол-сирець має відповідати СТП 113-03-26-9-80, показники якого наступні (Табл.2.1):

Таблиця 1.1 - Загальні характеристики метанолу-сирцю

Зовнішній вигляд	Рідина, що не має кольору, або має жовтуватий колір, прозора, без механічних домішок. Пара із повітрям утворює вибухонебезпечну суміш. Межа вибухонебезпечних концентрацій із повітрям при наявності іскри: нижній - 5,5% , верхній - 36,5%
Масова частка води, % , не більше	8,0
Масова частка органічної частини, % , не більше	92,0
у тому числі	
діметилового ефіру	не нормується
Невідомого компоненту, % , не більше	0,8
альдегідів та кетонів , %	0,25
випробування з перманганатом калія, хвилин, не менш	0,5

Готова продукція:

Готовою продукцією вважається метанол-ректифікат.

Технічна назва - метанол.

Хімічна формула - CH_3OH .

Торгова назва - метанол-отрута-технічний.

Залежно від використання технічний метанол-отрута виробляється двох марок (Табл.2.2):

Таблиця 1.2 - Характеристика метанолу-отрути

Марка	Використання
А	для процесів основного органічного синтезу та поставок на експорт
Б	для нафтової та газової промисловості та для ліквідації кристалогідратів у трубопроводах, та випробування свердловини, а також у хімічній, фармацевтичній, мікробіологічній промисловості.

Якість товарного метанола-ректифіката має відповідати ТУ 113-03-494-85 на метанол-отруту особливого очищення та ДСТУ 3057-95 (ГОСТ 2222-95) на метанол-отруту технічний. Характеристика товарного метанола-ректифіката наведена в табл. 2.3.

Таблиця 1.3 - Характеристика товарного метанола-ректифіката

№	Найменування показника	Норма для марок	
		А	Б
1	2	3	4
1	Зовнішній вигляд	прозора рідина без кольору без нерозчинних домішок	прозора рідина без кольору без нерозчинних домішок
2	Густина, г/см ³	0,791-0,792	0,791-0,792
3	Температурні межі:		
	а) межа кипіння, °С	64,0-65,5	64,0-65,5
	б) 99 % продукту переганяється у межах, °С, не більше	0,8	1,0
4	Змішується з водою	без слідів помутнішання та опалесценції	без слідів помутнішання та опалесценції
5	Масова частка води, %, не більше	0,05	0,08
6	Масова частка вільних кислот у перерахунку на мурав'їну кислоту, %, не більш	0,0015	0,0015
7	Масова частка альдегідів та кетонів у перерахунку на ацетон, %, не більше	0,003	0,008
8	Масова частка летучих з'єднань заліза у перерахунку на залізо, %, не більше	0,00001	0,0005

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
---	---	---	---

9	Випробування з перманганатом калію, хв, не менш	60	30
10	Масова частка аміаку та аміносполук у перерахунку на аміак, %, не більш	0,00001	не нормується
11	Масова частка хлору, %, не більше	0,0001	0,001
12	Масова частка сірки, %, не більше	0,0001	0,001
13	Масова частка нелетучого залишку після випарювання, %, не більш	0,001	0,002
14	Питома електропровідність, см/м, не більше	$3 \cdot 10^{-5}$	не нормується
15	Масова частка етилового спирту, %, не більше	0,01	не нормується
16	Щільність за платинокобальтовою шкалою, од. Хазена, не більше	5	не нормується

Паровий конденсат має відповідати СТП 6-52-96. Окрім показників, обов'язкових для перевірки по СТП 6-52-96, в паровому конденсаті визначають метанол (кількісно), вміст якого не має перевищувати 3 мг/дм³. Показники СТП 6-92-96 зведені у табл. 2.4:

Таблиця 1.4 - Показники СТП 6-92-96

№	Найменування показника	Норми
1	Концентрація солей жорсткості, мг·моль·екв/дм ³ , не більше	15
2	Масова концентрація хлоридів, мг/ дм ³	2,0
3	Масова концентрація кремнієвої кислоти, мг/ дм ³ , не більше	0,15
4	Масова концентрація загального заліза, мг/ дм ³ , не більше	0,3
5	pH - середовища	7,0-9,2
6	Масова концентрація аміаку, мг/ дм ³ , не більше	1,0
7	Здатність окислятися, мг О ₂ / дм ³ , не більше	15
8	Вміст солей, мг/ дм ³ , не більше	15

Катеоніт марки КУ-2-8 має відповідати ГОСТ 20298-74. Катеоніт – вибухонебезпечна речовина, неотруйна, незаймиста. Гарантійний строк зберігання катеоніта 12 місяців від дня виготовлення. Не допускається транспортування, упакування у мішки разом з аніонітами та агресивними речовинами. Зберігається ка-

теоніт у чистих та сухих приміщеннях при температурі не нижче $+2^{\circ}\text{C}$ на відстані не менш 1 м від опалювальних приладів. Згідно ГОСТ 20298-74 показники катеоніта КУ-2-8 приведені у табл.2.5.

Таблиця 1.5 - Показники катеоніта КУ-2-8

Зовнішній вигляд	Сферичні зерна від жовтого до коричньового колеру
Вміст вологи, %	50-60
Розмір зерен, мм	0,315-1,25
Вміст робочої фракції, %	96-94

Азот технічний $\text{N}_2 = 97\%$ має відповідати СТП 113-03-26-43-91 (Табл. 2.6).

Таблиця 1.6 - Вимоги згідно СТП 113-03-26-91

Вміст	
Азот (N_2), %, не менш	97
Кисень (O_2), %, не більше	3
Мастило	відсутнє
Тиск, $\text{кгс}/\text{см}^2$, не менш	3

Використовується для продувки апаратів та обладнання, для протипожежних цілей. Азот не має кольору, запаху и смаку.

Оборотна вода. Усі параметри по оборотній воді забезпечує цех оборотного водопостачання (Табл. 2.7).

Таблиця 1.7 - Вимоги до оборотної води

Норми по оборотній воді:	
Тиск, $\text{кгс}/\text{см}^2$, не менш	2
Температура на вході в цех, $^{\circ}\text{C}$, не більше	30
перепад температури води, $^{\circ}\text{C}$:	
взимку	8
влітку	7

Використовується для технологічних потреб и господарсько-побутових цілей.

Повітря КВП осушене. Тиск осушеного повітря має бути не менш $3 \text{ кгс}/\text{см}^2$. за складом та вмісту побічних примішок має відповідати ГОСТ 17433-80. Клас забруднення I (Табл. 2.8).

Таблиця 1.8 - Вимоги до повітря КВП

Розмір твердих часток, мкм, не більше	5
Вміст твердих часток, мг/м ³	1
Вода, масло	не допускається

Призначене для живлення пневматичних пристроїв та систем.

2.4 Технологічний розрахунок.

2.4.1 Тепловий баланс теплообмінника

Складаємо рівняння теплового балансу з урахуванням теплових втрат:

$$Q_{\bar{a}} = Q + Q_n = 1,05 \cdot Q_o, \quad (1.1)$$

де: Q_i - теплові втрати в навколишнє середовище (приймаємо рівними 5% від теплового потоку, що передається через поверхню теплообміну).

Q_2, Q_x - теплові потоки відповідно – що віддається першим теплоносієм і що приймається другим теплоносієм, Вт.

$$Q_2 = G_2 \cdot C_2 \cdot (t_n^2 - t_k^2), \quad (1.2)$$

$$Q_x = G_x \cdot C_x \cdot (t_k^x - t_i^x) \quad (1.3)$$

Підставляючи теплові потоки у формулу 2.1, отримаємо рівняння теплового балансу:

$$G_2 \cdot C_2 \cdot (t_n^2 - t_k^2) = 1,05 \cdot G_x \cdot C_x \cdot (t_k^x - t_n^x) \quad (1.4)$$

2.4.2 Тепловий розрахунок

Метою розрахунку є визначення поверхні теплообміну теплообмінника і його довжини труб.

Дано: $G_{\bar{a}}$ - масова витрата гарячого теплоносія $G_{\bar{a}} = 22,2$ кг/с.

t_n^2, t_k^2 - початкова і кінцева температури гарячого теплоносія

$t_n^2 = 300^\circ C$, $t_k^2 = 120^\circ C$;

t_n^x, t_k^x - початкова і кінцева температури холодного теплоносія

$$t_h^x = 45^\circ C, t_k^x = 220^\circ C.$$

Визначення середнього температурного натиску:

$$\Delta t_m = 75^\circ C$$

$$\Delta t_\delta = 80^\circ C$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_\delta - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_\delta}{\Delta t_m}}. \quad (1.5)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{80 - 75}{\ln \frac{80}{75}} = 77,5^\circ C$$

Визначення середніх температур теплоносіїв

Середня температура холодного газу:

$$t_{cp}^x = \frac{t_h^x + t_k^x}{2} = \frac{45 + 220}{2} = 132,5^\circ C \quad (1.6)$$

Середня температура гарячого газу:

$$t_{cp}^e = \frac{t_h^e - t_k^e}{2} = \frac{300 - 120}{2} = 160^\circ C \quad (1.7)$$

Визначення теплового навантаження

$$Q = G_2 \cdot C_2 \cdot (t_h^e - t_k^e),$$

де: - середня питома теплоємність газу при .

$$C_2 = X_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + X_{CO} \cdot C_{CO} + X_{H_2} \cdot C_{H_2} + X_{CH_4} \cdot C_{CH_4} + X_{N_2} \cdot C_{N_2} \quad (1.8)$$

де: X_n – об'ємні долі газів в суміші % суміші;

C_n – теплоємності газів

$$C_2 = 0,62 \cdot 12 + 0,98 \cdot 13 + 14,8 \cdot 53 + 1,27 \cdot 5 + 0,98 \cdot 21,5 = 832 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$Q = 22,2 \cdot 832 \cdot (300 - 120) = 1920921,6 \text{ Вт.}$$

Визначення витрати газу G_x , що охолоджує

$$G_x = Q / 1,05 \cdot C_x \cdot (t_k^x - t_h^x) \quad (1.9)$$

$$C_x = X_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + X_{CO} \cdot C_{CO} + X_{H_2} \cdot C_{H_2} + X_{CH_4} \cdot C_{CH_4} + X_{N_2} \cdot C_{N_2} \quad (1.10)$$

де: X_n – об'ємні долі газів в суміші % суміші;

C_n – теплоємності газів

$$C_x = 0,75 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,5 + 14,82 \cdot 74 + 1,8 \cdot 0,4 + 0,1 \cdot 25 = 1123 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

$$G_x = 1920921,6 / 1,05 \cdot 1123 \cdot (220 - 45) = 8,64 \text{ кг}/\text{с}$$

2.4.3 Визначення поверхні теплообміну

Мінімальне орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі

$$K_{op} = 18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K}).$$

Орієнтовне значення поверхні теплообміну:

$$F_{op} = \frac{Q}{\Delta t_{cp} \cdot K_{op}}; \quad (1.11)$$

$$F_{op} = \frac{1920921,6}{77,5 \cdot 18} = 2137 \text{ м}^2$$

Визначення числа труб:

$$w_x = \frac{3500 \cdot \mu_x}{d_{вн} \cdot \rho_x}, \quad (1.12)$$

де: μ_x - динамічна в'язкість газу;

ρ_x - густина газу.

$$\frac{M_x}{\mu_x} = \frac{y_1 \cdot M_1}{\mu_1} + \dots, \text{Па} \cdot \text{с}; \quad \frac{M_x}{\mu_x} = \frac{0,1 \cdot 44}{0,022} + \frac{0,5 \cdot 28}{0,025} + \frac{74 \cdot 2}{0,012} + \frac{0,4 \cdot 16}{0,015} + \frac{25 \cdot 28}{0,025} = 41520;$$

$$\mu_x = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\rho_x = y_1 \cdot \rho_1 + \dots, \text{кг}/\text{м}^3; \quad \rho_x = 0,1 \cdot 1,98 + 0,5 \cdot 1,25 + 74 \cdot 0,09 + 0,4 \cdot 0,72 + 25 \cdot 1,25 = 39,02 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$d_{вн} = 0,02 - 2 \cdot 0,002 = 0,016 \text{ м}$$

$$w_x = \frac{3500 \cdot 4,2 \cdot 10^{-5}}{0,016 \cdot 39,02} = 0,235 \text{ м}/\text{с}$$

Число труб, що забезпечують витрату газу:

$$n = \frac{G_x \cdot 4z}{\rho_x \cdot \pi \cdot d_{вн}^2 \cdot w_x}, \quad (1.13)$$

де: z – число ходів в теплообміннику.

$$n = \frac{8,64 \cdot 4 \cdot 1}{39,02 \cdot 3,14 \cdot 0,016^2 \cdot 0,235} = 4082$$

Визначення коефіцієнта тепловіддачі.

Уточнюємо значення критерію Рейнольдса для газу:

$$\text{Re}_x = 3500 \cdot \frac{n_p}{n} \quad (1.14)$$

$$\text{Re}_x = 3500 \cdot \frac{2578}{2660} = 3365$$

Критерій Прандтля для газу, при :

$$\text{Pr}_x = \frac{\mu_x \cdot C_x}{\lambda_x}, \quad (1.15)$$

де: c_x - питома теплопровідність газу

$$\lambda_x = B_x \cdot C_x \cdot \mu_x, \text{ Bm}/(\text{m} \cdot \text{K}), \quad (1.16)$$

$$B_x = 0,25 \cdot (9 \cdot k_x - 5); B_x = 0,25 \cdot (9 \cdot 140,71 - 5) = 315,35 \quad (1.17)$$

$$k_x = \frac{C_{1p}}{C_{1v}} \cdot y_1 + \dots; k_x = \frac{0,84}{0,65} \cdot 0,1 + \frac{1,05}{0,75} \cdot 0,5 + \frac{14,30}{10,14} \cdot 74 + \frac{2,23}{1,7} \cdot 0,4 + \frac{1,05}{0,75} \cdot 25 = 140,71$$

$$\lambda_x = 315,35 \cdot 1123 \cdot 4,2 \cdot 10^{-5} = 14,87 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$\text{Pr}_x = \frac{\mu_x \cdot C_x}{\lambda_x} = \frac{4,2 \cdot 10^{-5} \cdot 1123}{14,87} = 3,17$$

Підбираємо критерійне рівняння:

$$\text{Nu}_x = 0,8 \cdot \left(\text{Pe}_x \frac{d}{L} \right)^{0,4} \cdot (\text{Gr}_x \cdot \text{Pr}_x)^{0,1}, \quad (1.18)$$

де:

$$\text{Pe}_x = \text{Re}_x \cdot \text{Pr}_x = 3365 \cdot 3,17; \quad (1.19)$$

$$\text{Gr}_x = \frac{d^3 \cdot \rho_x^2 \cdot \beta \cdot \Delta t_{cp} \cdot g}{\mu_x} = \frac{0,016^3 \cdot 39,02^2 \cdot 1,85 \cdot 9,81}{4,2 \cdot 10^{-5}} = 2695; \quad (1.20)$$

$$\text{Nu}_x = 0,8 \cdot \left(3365 \cdot 3,17 \cdot \frac{0,016}{4,877} \right)^{0,4} \cdot (2695 \cdot 3,17)^{0,1} = 8,2$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_x = \frac{\text{Nu}_x \cdot \lambda_x}{d_{en}} = \frac{8,2 \cdot 14,87}{0,016} = 762 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}). \quad (1.21)$$

Визначення коефіцієнта тепловіддачі для гарячого теплоносія.

Швидкість потоку конвертованого газу:

$$w_2 = \frac{G_2}{\rho_2 \cdot f_{\text{мн.н.}}}; \quad (1.22)$$

де: $f_{\text{мн.н.}}$ - площа поперечного перетину труб, м^2 ;

$$f_{\text{мн.н.}} = 2,4 \text{ м}^2.$$

$$\rho_2 = y_1 \cdot \rho_1 + \dots, \text{кг/м}^3; \rho_2 = 12 \cdot 1,98 + 13 \cdot 1,25 + 53 \cdot 0,09 + 0,5 \cdot 0,72 + 21,5 \cdot 1,25 = 72,01 \text{ кг/м}^3$$

$$w_2 = \frac{22,2}{72,01 \cdot 2,4} = 0,586 \text{ м/с}$$

Критерій Рейнольдса:

$$\text{Re}_{\bar{a}} = \frac{w_{\bar{a}} \cdot d_i \cdot \rho_{\bar{a}}}{\mu_{\bar{a}}}; \quad (1.23)$$

$$\frac{M_2}{\mu_2} = \frac{y_1 \cdot M_1}{\mu_1} + \dots, \text{Па} \cdot \text{с}; \frac{M_2}{\mu_2} = \frac{12 \cdot 44}{0,016} + \frac{13 \cdot 28}{0,019} + \frac{53 \cdot 2}{0,0095} + \frac{0,5 \cdot 16}{0,0115} + \frac{21,5 \cdot 28}{0,0185} = 96552;$$

$$\mu_2 = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\text{Re}_2 = \frac{0,586 \cdot 0,02 \cdot 72,01}{1,9 \cdot 10^{-6}} = 4441$$

Підбираємо критерійне рівняння:

$$\text{Nu}_2 = 0,022 \cdot \text{Re}_2^{0,8} \cdot \text{Pr}_2^{0,4}; \quad (1.24)$$

Критерій Прандтля:

$$\text{Pr}_2 = \frac{\mu_2 \cdot C_2}{\lambda_2}; \quad (1.25)$$

де: C_T - питома теплопровідність газу, при ;

$$\lambda_2 = B_2 \cdot C_2 \cdot \mu_2, \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}, \quad (1.26)$$

$$B_2 = 0,25 \cdot (9 \cdot k_2 - 5); B_2 = 0,25 \cdot (9 \cdot 139,2 - 5) = 311,95 \quad (1.27)$$

$$k_2 = \frac{C_{1p}}{C_{1v}} \cdot y_1 + \dots; k_2 = \frac{0,84}{0,65} \cdot 12 + \frac{1,05}{0,75} \cdot 13 + \frac{14,30}{10,14} \cdot 53 + \frac{2,23}{1,7} \cdot 0,5 + \frac{1,05}{0,75} \cdot 21,5 = 139,2$$

$$\lambda_2 = 311,95 \cdot 832 \cdot 1,9 \cdot 10^{-6} = 0,493 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

$$\text{Pr}_2 = \frac{1,9 \cdot 10^{-6} \cdot 832}{0,493} = 3,42$$

$$\text{Nu}_{\bar{a}} = 0,022 \cdot 4441^{0,8} \cdot 3,42^{0,4} = 9,7$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_z = \frac{Nu_z \cdot \lambda_z}{d_n} = \frac{9,7 \cdot 0,493}{0,02} = 239,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}). \quad (1.28)$$

Визначення коефіцієнта теплопередачі для гарячого теплоносія

Теплову провідність забруднень з боку гарячого газу приймаємо:

$$\frac{1}{r_{з.х.}} = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

а з боку холодного газу:

$$\frac{1}{r_{з.х.}} = 40 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \text{ коефіцієнт теплопровідності низьколегованої сталі}.$$

$$K_{уст} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_z} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_x} + r_{з.г.} + r_{з.х.}}, \quad (1.29)$$

де: δ - товщина стінки трубки ;

$$K_{уст} = \frac{1}{\frac{1}{239,1} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{762} + \frac{1}{40} + \frac{1}{40}} = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Питоме теплове навантаження:

$$q = K_{уст} \cdot \Delta t_{cp} = 12 \cdot 77,5 = 1697,4 \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (1.30)$$

Розрахункову поверхню теплообміну визначаємо по формулі:

$$F_p = \frac{Q}{K_{уст} \cdot \Delta t_{cp}}, \quad (1.31)$$

$$F_p = \frac{1920921,6}{15 \cdot 77,5} = 2398,3 \text{ м}^2.$$

Розрахункова довжина труб:

$$l_p = \frac{F_p}{\pi \cdot d_{cp} \cdot n}, \quad (1.32)$$

$$l_p = \frac{2398,3}{3,14 \cdot 0,018 \cdot 4082} = 13,5$$

Приймаємо теплообмінник з двох корпусів з'єднаних послідовно загальною площею поверхні теплообміну 2440 м² (кожний корпус по 1220 м²), довжина труб в кожному корпусі однакова і дорівнює 7 м.

2.5 Гідравлічний розрахунок

Розрахунок штуцера входу і виходу газу :

$$D_2 = \sqrt{\frac{V_2}{0,785 \cdot W_2}}, \quad (1.33)$$

де: $V_{\bar{a}}$ - об'ємна витрата газу, м³/с

$$V_{\bar{a}} = \frac{G_{\bar{a}}}{\rho_{\bar{a}}}, \quad (1.34)$$

$$V_2 = \frac{72.01}{22.2} = 3.24 \text{ м}^3 / \text{с},$$

$W_{\bar{a}}$ - швидкість газу в штуцері гарячого теплоносія.

Приймаємо $W_{\bar{a}} = 12$ м/с.

$$D_2 = \sqrt{\frac{3.24}{0,785 \cdot 12}} = 0.486 \text{ м}.$$

Приймаємо штуцера з умовним проходом Ду500

Розрахунок штуцера входу і виходу холодного газу :

$$D_x = \sqrt{\frac{V_x}{0,785 \cdot W_x}}, \quad (1.35)$$

де: V_x - об'ємна витрата конвертованого газу, м³/с

$$V_x = \frac{G_x}{\rho_x}, \quad (1.36)$$

$$V_x = \frac{39.02}{8.64} = 4.5 \text{ м}^3 / \text{с},$$

W_x - швидкість холодного теплоносія.

$$D_2 = \sqrt{\frac{4.5}{0,785 \cdot 12}} = 0.513 \text{ м}.$$

Приймаємо штуцера з умовним проходом Ду500 .

3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛООБМІННИКА

Рекупераційний теплообмінник призначений для часткової утилізації тепла реакції перетворення синтез газу. Проходячи скрізь теплообмінник газова суміш, що поступає на реагування, набуває заданного температурного режиму, а газ, який вийшов з реактора охолоджується.

Апарат виконано з двох елементів, розташованих один над другим. Кожен елемент складається з корпусу, що містить трубний пучок, розподільних камер та кришок. Для підводу і виводу робочого середовища, апарат оснащений технологічними штуцерами. Процес передачі тепла проходить через теплообмінні труби, які розташовані всередині кожуха. З обох боків труби закріплені в трубні решітки. Кріплення труб виконано за допомогою зварювання з подальшим розвальцовуванням.

Для захисту зовнішньої поверхні труб напроти штуцера входу середовища у міжтрубний простір, розташована відбійна пластина. Для компенсації температурних деформацій, всередині апарата є лінзовий компенсатор.

Елементи теплообмінника встановлюються один над одним на седловидні опори, одна з яких закріплюється нерухомо, а друга ковзає. Вільне переміщення опор дозволяє компенсувати температурне розширення корпусу апарату.

Елементи апарату з'єднані послідовно, таким чином забезпечується потрібна поверхня теплообміну.

Апарат призначений для охолодження газу, що виходить з реактора газом, що поступає до реактора. Таким чином газова суміш, що поступає на реагування набуває заданого температурного режиму.

4 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Матеріали, призначені для виготовлення вузлів деталей апарата повинні задовольняти комплексу вимог, обумовлених конструкцією, технологією обробки й експлуатацією апарата.

При виборі матеріалу варто враховувати наступні показники:

- міцність;
- щільність;
- теплопровідність;
- коефіцієнт лінійного розширення;
- стійкість проти хімічної й електрохімічної корозії;
- стійкість проти ерозії;
- пористість матеріалу;
- зміна властивостей при термічній обробці;
- пластичність;
- в'язкість і ковкість;
- ливарні властивості;
- зварюваність;
- вартість матеріалу й дефіцитність.

Для кожуха й кришок застосовують вуглецеву сталь 20К ГОСТ 1050-88. Ця сталь має досить гарні механічні властивості, а також гарні корозійні властивості. Ще одна перевага перед іншими видами стали - її доступність і досить низька ціна.

Для теплообмінних труб і трубних решіток приймаємо сталь 09Г2С ГОСТ 5520-79. Ця сталь має досить гарними механічними й корозійностійкими властивості, а також може бути використана при температурах 90 – 400⁰С, що задовольняє технологічному процесу.

Матеріал фланців –сталь 20К ГОСТ 1050-88.

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ

5.1 Визначення розрахункових параметрів

Розрахункова температура

Робоча температура в теплообміннику, що відповідає оптимальній температурі проведення контрольованого процесу становить у трубному просторі 300 °С, у міжтрубному просторі (кожусі) – 220 °С.

За розрахункову температуру в міжтрубному просторі приймаємо найбільше значення температури стінки кожуха $t_k=220^\circ\text{C}$; у трубному просторі $t_r=300^\circ\text{C}$.

Розрахункову температуру для умов випробування й монтажу приймаємо рівною 20 °С.

Допустимі напруження

Допустимі напруження матеріалу теплообмінника при розрахунковій температурі $[\sigma]$.

Для матеріалу розподільних камер і трубних решіток:

$$[\sigma]_{20} = 147 \text{ МПа}; \quad [\sigma] = 136 \text{ МПа.}$$

$$\text{для матеріалу кожуха - } [\sigma]_{T20} = 196 \text{ МПа}; \quad [\sigma]_T = 162 \text{ МПа.}$$

Робочий, розрахунковий і пробний тиск

Під робочим тиском варто розуміти максимальний внутрішній надлишковий тиск, що виникає при нормальному протіканні робочого процесу, без урахування гідростатичного тиску середовища й без урахування припустимого короткочасного підвищення тиску під час дії запобіжного клапана.

Для захисту від можливого підвищення тиску вище припустимого вони снабжаються запобіжними пристроями.

Максимальний робочий тиск в апараті:

у міжтрубному просторі

$$P_{\text{раб м. ін}} = 5,0 \text{ МПа}; \quad (5.1)$$

у трубному просторі

$$P_{\text{раб тр. ін}} = 5,5 \text{ МПа.}$$

За розрахунковий тиск приймаємо

$$P_{\text{к}} = 1,15 \cdot P_{\text{раб}} \quad \text{при } 0,3 < P_{\text{раб}} \leq \text{МПа}$$

$$P_{\text{к тр}} = 1,15 \cdot 5,5 = 6,325 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{к м}} = 1,15 \cdot 5,0 = 5,75 \text{ МПа}$$

Розрахунковий тиск, не враховуючи гідростатичний тиск середовища, знайдемо за формулою:

$$P_{\text{р}} = 0,9 \cdot P_{\text{к}} \quad \text{при } P_{\text{раб}} \leq 6,0 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{р тр}} = 0,9 \cdot 6,325 = 5,69 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{р м}} = 0,9 \cdot 5,75 = 5,18 \text{ МПа}$$

Під пробним тиском в апараті варто розуміти тиск, при якому проводиться випробування апарата на міцність і герметичність. Випробування сталевих зварних посудин повинне проводитися пробним тиском, що визначається по формулі

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma], \quad (5.4)$$

де P – розрахунковий тиск у трубному й міжтрубному просторах відповідно,

$[\sigma]_{20}$ - допустимі напружини, для матеріалу посудини при температурі 20°C,

$[\sigma]$ - допустиме напруження, для матеріалу посудини при розрахунковій температурі.

Пробний тиск для трубного простору

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 5,69 \cdot 196/162 = 8,6 \text{ МПа.} \quad (5.5)$$

Пробний тиск для міжтрубного простору

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 5,18 \cdot 147/136 = 7,0 \text{ МПа.} \quad (5.6)$$

Розрахунок на міцність елементів апарата для умов випробувань проводити не потрібно, якщо розрахунковий тиск в умовах випробувань буде

не більше розрахункового тиску в робочих умовах помноженому на $\cdot 1,35[\sigma]^{20}/[\sigma]$.

Для трубного простору

$$P_{np} = 8,6 \text{ МПа} < 9,29 \text{ МПа}$$

Для міжтрубного простору

$$P_{np} = 7,0 \text{ МПа} < 7,56 \text{ МПа} \quad (5.6)$$

Коефіцієнт міцності зварних швів

Коефіцієнт міцності зварних швів φ_p приймаємо залежно від групи апарата по методичних вказівках [8].

Для трубного простору при розрахунковому тиску 5,69 МПа й розрахунковій температурі 300°C для вибухо-, пожежонебезпечного середовища – група апарата 1 [8], для міжтрубного простору при розрахунковому тиску 5,18 МПа й розрахунковій температурі 220°C для вибухонебезпечного, пожежонебезпечного середовища група апарата - 1 [8].

Коефіцієнт міцності зварного шва приймаємо по таблиці 4 [8]. Для стикових або таврових швів із двостороннім суцільним проваром, виконуваних автоматичним і напівавтоматичним зварюванням коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi_\delta = 1$.

Збільшення до розрахункових величин конструктивних елементів

При розрахунку посудин і апаратів необхідно враховувати збільшення C до розрахункових товщин елементів посудин і апаратів.

Збільшення до розрахункових товщин визначаємо по формулі

$$C = C_1 + C_2, \quad (5.7)$$

де C_1 – збільшення для компенсації корозії й ерозії, мм;

C_2 – збільшення для компенсації мінусового допуску, мм;

Збільшення для компенсації корозії й ерозії приймається з урахуванням умов експлуатації, розрахункового терміну служби, швидкості корозії.

Збільшення C_1 визначаємо по формулі

$$C_1 = P \cdot \tau + C_9, \quad (5.8)$$

де P – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

τ - термін служби апарата, років;

C_9 – збільшення для компенсації ерозії, мм.

Збільшення для компенсації корозії прийняті, виходячи з максимально припустимої швидкості проникнення корозії, рівної $P = 0,1$ мм/рік.

Для елементів кожуха, підданих корозії, при терміні служби апарата $\tau = 20$ років збільшення на корозію складе:

$$C_1 = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ мм.}$$

Збільшення C_2 для компенсації мінусового допуску приймаються залежно від товщини листового прокату [8]. Збільшення C_2 ураховуємо в тому випадку, коли її значення перевищує 5 % від номінальної товщини листа.

5.2 Розрахунок обичайок

5.2.1 Розрахунок циліндричної обичайки кожуха (міжтрубний простір)

Циліндрична обичайка є одним з основних елементів хімічних апаратів. Обичайки виготовляються вальцюванням з листового прокату (рис.5.1). Края обичайок, що утворюють корпус апарата, з'єднують між собою встик.

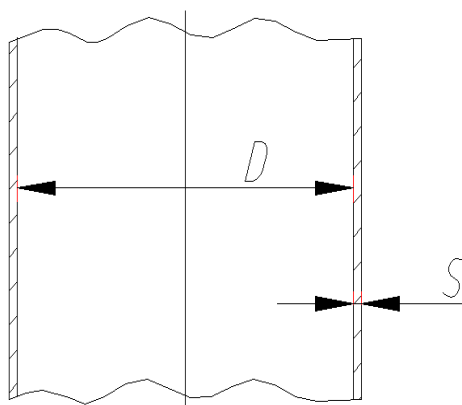


Рисунок 5.1 - Циліндрична обичайка

Виконавча товщина стінки обичайки кожуха розраховується за формулою

$$S \geq S_p + C, \quad (5.9)$$

де S_p – розрахункова товщина стінки корпусу апарата;

C – сума збільшень до розрахункової товщини.

Товщину стінки обичайки кожуха, мм, що працює під надлишковим внутрішнім тиском, визначаємо по формулі

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (5.10)$$

де $P = 5,18$ МПа – розрахунковий тиск, МПа;

$D = 1800$ мм – внутрішній діаметр обичайки,

$\varphi_p = 1$ – коефіцієнт міцності зварного шва.

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_p = \frac{5,18 \cdot 1800}{2 \cdot 162 \cdot 1 - 5,18} = 29,2 \text{ мм}$$

Суму збільшень до розрахункової товщини

$$C = 2 + 0,8 = 2,8 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки обичайки

$$S = 29,2 + 2,8 = 32 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки кожуха: $S = 36$ мм.

Перевірка виконання умови:

$$P \leq [P]. \quad (5.11)$$

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (5.12)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 162 \cdot 1 \cdot (36 - 2,8)}{1800 + (36 - 2,8)} = 5,32 \text{ МПа}$$

$$5,18 < 5,32 \text{ МПа.}$$

Умова виконується.

Перевірка умови використання розрахункових формул

$$\frac{36 - 2,8}{1800} = 0,018 < 0,1 \quad \text{умова виконується.}$$

5.2.2 Розрахунок циліндричної обичайки камери (трубний простір)

Товщину стінки обичайки розподільної камери, мм, що працює під надлишковим внутрішнім тиском, визначаємо по формулі

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}, \quad (5.10)$$

де $P = 5,69$ МПа – розрахунковий тиск, МПа;

$D = 1800$ мм – внутрішній діаметр обичайки,

$\varphi_p = 1$ – коефіцієнт міцності зварного шва.

Розрахункова товщина стінки обичайки:

$$S_p = \frac{5,69 \cdot 1800}{2 \cdot 136 \cdot 1 - 5,69} = 38,5 \text{ мм}$$

Суму збільшень до розрахункової товщини

$$C = 2 + 0,8 = 2,8 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина стінки обичайки

$$S = 38,5 + 2,8 = 41,3 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки розподільної камери:

$$S = 45 \text{ мм.}$$

Перевірка виконання умови:

$$P \leq [P]. \quad (5.11)$$

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)}, \quad (5.12)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 136 \cdot 1 \cdot (45 - 2,8)}{1800 + (45 - 2,8)} = 6,23 \text{ МПа}$$

$$5,69 < 6,23 \text{ МПа.}$$

Умова виконується.

Перевірка умови використання розрахункових формул

$$\frac{45 - 2,8}{1800} = 0,023 < 0,1 \quad \text{умова виконується.}$$

5.3 Розрахунок опуклих днищ

Днища, так само як і обичайки, є одним з основних елементів хімічних апаратів. Днища розподільних камер являють собою еліптичні відбортовані днища (мал.5.2).

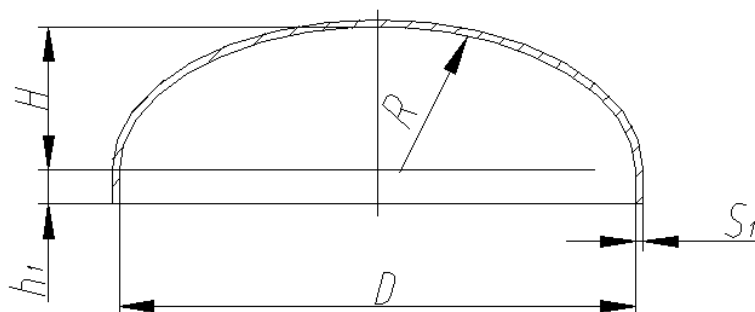


Рисунок 5.2 - Еліптичне днище

Виконавчу товщину стінки еліптичного днища розраховуємо за формулою

$$S_1 \geq S_{1P} + C, \quad (5.13)$$

де S_{1P} – розрахункова товщина стінки днища;

C – сума збільшень до розрахункової товщини.

Товщину стінки днища, мм, що працює під надлишковим внутрішнім тиском, визначаємо за формулою

$$S_{1P} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - 0,5P}, \quad (5.14)$$

де $P = 5,69$ МПа – розрахунковий тиск;

$D = 1800$ мм – внутрішній діаметр апарата;

$\varphi_p = 1$ – коефіцієнт міцності поздовжнього звареного шва.

Розрахункова товщина стінки днища:

$$S_p = \frac{5,69 \cdot 1800}{2 \cdot 136 \cdot 1 - 0,5 \cdot 5,69} = 38,05 \text{ мм};$$

Суму збільшень до розрахункової товщини

$$C = C_l = 2,8 \text{ мм.}$$

$$S_l = 38,05 + 2,8 = 41,3 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки днища: $S_l = 45 \text{ мм.}$

Перевірка виконання умови:

$$P \leq [P].$$

Допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_l - C)}{R + 0,5 \cdot (S_l + C)}, \quad (5.15)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 136 \cdot 1 \cdot (45 - 2,8)}{1800 + 0,5(45 - 2,8)} = 6,31 \text{ МПа},$$

$$5,69 < 6,31 \text{ МПа.}$$

Умова виконується.

5.4 Визначення товщини трубних решіток

Товщина трубних решіток призначається конструктивно. Прийнята товщина трубних решіток повинна забезпечувати можливість кріплення труб у решітках. Для решіток, у яких кріплення теплообмінних труб проводиться розвальцьовуванням або зварюванням з наступним розвальцьовуванням, прийнята товщина решіток повинна забезпечувати міцність і гарантований тиск герметизації вальцювального з'єднання, а також нежолоблення решітки при розвальцьовуванні труб. Прийнята товщина трубних решіток повинна задовольняти умові міцності безтрубної зони

$$S_\delta \geq S_{\delta\delta} + C_\delta, \quad (5.16)$$

де S_{pp} – розрахункова товщина трубних решіток, мм;

C_p – сума збільшень до розрахункової товщини решіток, мм.

Розрахункова товщина трубних решіток з умови міцності максимально безтрубної зони визначається за формулою

$$S_{\delta\delta} = 0,5 \cdot D_e \cdot \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_{\delta}}}, \quad (5.17)$$

де D_e – діаметр окружності вписаної в максимальну безтрубну зону, $D_e=137$ мм;

P - розрахунковий тиск, $P=5,69$ МПа;

$[\sigma]_{\delta}$ - допустиме напруження для матеріалу трубних решіток при розрахунковій температурі, $[\sigma]_{\delta} = 136$ МПа

$$S_{pp} = 0,5 \cdot 137 \cdot \sqrt{\frac{5,69}{136}} = 13,8 \text{ мм}$$

Розрахунковий тиск визначається по формулі

$$D = \max \{ |D_o|; |D_e|; |D_o - D_e| \}, \quad (5.18)$$

де P_T – розрахунковий тиск у трубному просторі, $P_T=5,69$ МПа;

P_K – розрахунковий тиск у міжтрубному просторі, $P_K=5,18$ МПа.

$$P = \max \{ |5,69|; |5,18|; |5,69 - 5,18| \} = 5,69 \text{ МПа}$$

Суму збільшень до розрахункової товщини трубних решіток приймаємо $C_p=3,5$ мм.

З конструктивних міркувань приймаємо товщину трубних решіток

$$S_p=60 \text{ мм}$$

$S_p=60$ мм > мм – умова виконується.

Розрахунок фланцевого з'єднання люка наведено у додатку А.

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛООБМІННИКА

Матеріалом для трубних решіток служить листова сталь. Трубні решітки звичайно виготовляють цільними, вирізкою з аркуша.

При виготовленні трубних решіток дотримуються наступні технічні вимоги. Граничні відхилення між центрами двох граничних отворів у трубних решітках і перегородках (крок) - $\pm 0,2$ мм і на будь-яку суму кроків $\pm 0,5$.

Трубні решітки теплообмінників і випарних апаратів більших діаметрів виготовляють із декількох частин. Свердлення отворів може проводитися на зварних швах. Після розкрою листа з найменшим відходом металу заготівлі решіток зварюють автоматично або вручну X - образним швом електродуговим або електрошлаковим зварюванням. Потім знімають посилення зварених швів, а після цього свердлять отвори.

Для визначення якості зварених швів і виявлення зовнішніх і внутрішніх дефектів, що впливають на розвальцьовування трубок в отворах, шви піддають рентгеноконтролю або ультразвуковій дифектоскопії. Зовнішні дефекти (непровари, тріщини, пори, раковини, зсуви стикуємих крайок і т.д.) виявляють візуально, а внутрішні - рентгеноскопічним просвічуванням. При наявності у звареному шві неприпустимих зовнішніх дефектів рентгеноконтроль не роблять. Просвічуванню піддають 50% загальної довжини зварених швів, місця просвічування встановлюються відділом технічного контролю.

При просвічуванні зварених швів можуть бути виявлені внутрішні дефекти: тріщини, непровари, жужільні включення, раковини й газові пори. Шви вважаються придатними для наступної обробки, якщо діаметр жужільних включень або раковин на перевищує 4, 10 і 15 мм, а площа газових пор і жужільних включень - 1, 1,5 і 2 см² для труб діаметром відповідно 25, 38 і 57 мм.

Якщо при просвічуванні контрольованих ділянок зварених швів будуть виявлені неприпустимі дефекти (тріщини, непровари) або дефекти перевищуючі зазначені розміри, то шов до подальшої обробки непридатний. У цьому випадку дефекти необхідно усунути й провести повторне просвічування всіх швів решітки.

Якщо ж при повторному просвічуванні результати виявляться такими ж, то всі зварені стики необхідно вирубати, знову заварити й ще раз перевірити. У деяких випадках зварені шви трубних решіток, крім рентгеноконтроля, піддають випробуванням на межкристалітну корозію й механічну міцність.

Технічний процес виготовлення решіток полягає в наступному.

Решітки вирізують із листа на автоматичних установках по копію. По закінченні різання напливи очищають від шліфувальними пристроями або дисковими провалочними пристроями (щітками).

Перегородки теплообмінних апаратів виготовляються з листового прокату.

Граничні відхилення зовнішнього діаметра поперечних перегородок відповідають класу точності. Граничне відхилення діаметра отворів у поперечній перегородці під труби повинне відповідати 5-му класу точності по системі отвору.

Свердлення отворів у перегородках проводиться в кондукторі.

Обичайки виготовляють зварними з аркушів. Вальцювання штампування обичайок допускається робити тільки на відповідних машинах або пресах. Виготовлення ручним способом, а також місцеве нагрівання й виправлення молотком не допускається.

Обичайки можуть бути виготовлені вальцюванням карт, зварних у плоскому стані з декількох аркушів. Зварні шви в обичайках, зварних з карт, повинні бути розташовані паралельно утворюючої;

Ширина аркушів між швами не 800 мм, а ширина замикаючої вставки не менш 400 мм. Поперечні зварені шви в сусідніх аркушах повинні бути зміщені відповідно до вказівок пункту 12.3.

Вальцювання обичайок з аркуша роблять у холодному стані. З метою обмеження залишкових напруг у металі після холодної гнучкі обичайку варто піддати термічній обробці, або виготовляти обичайку гарячим способом (нагрівання аркуша до ~ 1000 °С; закінчення гнучкі не нижче 700 °С).

Гибку обичайок з аркушів роблять на тривалкових або чотирьохвалкових листозгинальних вальцях, а також на гибочних пресах. У цих машинах гнучка аркуша здійснюється обертовими валками. У тривалкових машинах гибочним є се-

редній валок , а в чотиривалкових - бічні валки . Аркуш , що підлягає вальцюванню , уводять у валки й згинають його переміщенням вниз середнього валка (тривальна машина) або підйомом нагору бічних валків (чотиривальна машина). Гибку роблять за кілька пропусків . Після кожного пропуску кривизну аркуша збільшують до одержання замкнутої циліндричної обичайки . Вальцювання напівобичайок (корит) роблять до одержання розчину їхніх крайок , що відповідає заданому радіусу , і до заданої кривизни .

Трьохвальна машина не дозволяє зігнути крайки аркуша при вальцюванні . На довжині трохи менше половини відстані між бічними валками, крайки залишаються плоскими . Тому для одержання правильної циліндричної форми обичайок крайки попередньо підгинають . Операцію подгибки крайок звичайно виконують на гідравлічному пресі . Можлива підгибка крайок на тривалковій листозгинальній машині вдавненням кінця аркуша в загибочну матрицю .

При вальцюванні обичайок на чотиривалковій машині додаткового устаткування для подгибки крайок не потрібно .

Виготовлення днищ

До обичайки приварюються два еліптичних днища . Відношення висоти опуклої частини днища , обмірюване від внутрішньої поверхні , до внутрішнього діаметра приймають рівним 0,25 .

Розміри й форма днищ повинні відповідати ГОСТ 6533-78.

Днища виготовляють штампуванням з одного аркуша . Допускається виготовлення днищ штампуванням заготівлі , зварної із двох і більше аркушів . Зварні аркуші розташовують по хорді на відстані від центра не більше 440 мм. В окремих випадках застосовують днища , виготовлені з попередньо відштампованих пелюстків і сферичного диска , з розташуванням зварних швів тільки по меридіональному й круговому перетинах .

Кругові шви розташовують на відстані не менш 550 мм від центра днища . Мінімальна відстань між меридіональними швами приймають не менш 100 мм . Днища зі штампованих елементів зварюють стиковими швами із двостороннім проваром .

Днища штампують у гарячому стані з одного нагрівання . Температурний інтервал штампування 850- 950 0С . Штампування здійснюється протяганням . Штмп складається із циліндричного Пуассона з еліпсоїдною торцевою поверхнею , виконаної за формою днища . Матриця являє собою протяжне кільце , установленого на столі преса на підставних стійках . Під час штампування пуансон , рухаючись униз , простягає нагріту заготовку через матрицю . При цьому заготовка облягає пуансон і , остигаючи , затискає його . Відштамповане днище знімають із пуансона при зворотному ході. Днище падає на підкладну плиту , установлену на столі преса , і разом з нею витягається з робочого простору

При однаковому технологічному процесі існує кілька способів виготовлення днищ штампуванням . Ці способи в основному відрізняються застосуванням устаткування і оснащенням

Технологічний процес зборки камер.

У пристосуванні збираються фланець, обичайка, днище й прихоплюються електрозварюванням. Зварювання внутрішніх швів з обичайкою й обичайки із днищем виробляються на маніпуляторі зварювальним автоматом ТС - 17М, установленому на штанзі. Зварювання зовнішніх швів виробляється на маніпуляторі голівкою АБС. Після зварювання шви зачищаються. Фланець камери правиться на гідравлічному пресі. Виробляється розмітка отвору під штуцер і вирізка його спеціальною голівкою. Установлюється й вимірюються косинцем правильність установки штуцера. Штуцер приварюється напівавтоматом А - 573 у середовищі вуглекислого газу.

У кожухотрубчастих теплообмінних апаратах трубний пучок є самостійною складальною одиницею, зборка якої виробляється на окремому робочому місці.

Технологічний процес зборки трубного пучка починається з підготовки труб, які обрізають в розмір, після чого їхні кінці зачищаються до металевого блиску. З одного кінця проводиться зачищення на довжині, рівній товщині решітки плюс 10 мм, з іншого кінця - на подвійну товщину плюс 10 мм. Труби заводяться довгими кінцями. Положення перегородок вимірюється й закріплюється на стяжках гайками. Набивається нижня частина трубного пучка.

В отвори решіток і перегородок заводяться інші труби так, щоб їхні кінці виходили за площину решітки на товщину останньої. При прошовуванні через решітку або перегородки труба зустрічає перешкоду через неспіввісність отворів і невеликих вигинів самої труби, що утрудняє процес зборки. З метою усунення зазначеного недоліку використовується спеціальний конус - ловитель.

7 РЕМОНТ І МОНТАЖ ТЕПЛООБМІННИКА

В процесі тривалої роботи теплообмінні апарати піддаються забрудненню і зносу. Поверхня їх покривається накипом, маслом, відкладеннями солей і смол, окислюється і т.ін. Зі збільшенням відкладень зростає термічний опір стінки і погіршується теплообмін.

Знос теплообмінного апарату виражається в наступному:

1. Зменшення товщини стінки корпусу, днища, трубних решіток.
2. Випучини і вм'ятини на корпусі і днищах.
3. Свищи, тріщини, прогари на корпусі, трубах і фланцях.
4. Збільшення діаметра отворів для труб в трубній решітці.
5. Прогин трубних решіток і деформація трубок.
6. Заклинювання плаваючих головок і пошкодження їх струбцин.
7. Пошкодження лінзових компенсаторів.
8. Пошкодження сальникових пристроїв, коткових і пружинних опор.
9. Порухення гідро- і теплоізоляції.

Підготовка до ремонту включає виконання наступних заходів:

1. Знижується надлишковий тиск до атмосферного і апарат звільняється від продукту.
2. Відключається арматура, і ставляться заглушки на всіх підвідних і відвідних трубопроводах.
3. Проводиться продування азотом або водяною парою з наступним промиванням водою і продувкою повітрям.
4. Виконати аналіз на наявність отруйних і вибухонебезпечних продуктів.
5. Складається план і виходить дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту.
6. Складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються наступні роботи:

1. Зняття кришок апарату, люків, демонтаж обв'язки і арматури.
2. Виявлення дефектів вальцювання і зварювання, а також цілісності трубок гідра-

влічним та пневматичним випробуваннями на робочий тиск.

3. Часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення труб гнуття або зварюванням.
4. Ремонт футерування і антикорозійного покриття деталей з частковою заміною.
5. Ремонт або заміна арматури, яка зносилася, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів.
6. Зміна ущільнень розбірних з'єднань.
7. Витяг трубок, чистка внутрішньої поверхні корпусу апарату і теплообмінних трубок, зачистка отворів в трубній решітці, зачистка кінців трубок.
8. Заміна частини корпусу, днищ (кришок) і зношених деталей.
9. Виготовлення нових трубок.
10. Монтаж трубного пучка і вальцювання труб в решітці.
11. Ремонт плаваючих головок.
12. Монтаж різьбових з'єднань.
13. Гідравлічне випробування міжтрубною і трубною частин апарату пробним тиском.
14. Пневматичне випробування апарату.

Основними конструктивними недоліками теплообмінних апаратів є наступні:

1. Велика трудомісткість розбирання-збирання апарату при чищенні і заміні трубного пучка.
2. Мала надійність вальцювальних з'єднань трубок з трубною дошкою.
3. Складність ущільнення кришкою трубної дошки плаваючою головки.

Відмови теплообмінників відбуваються в основному через пропускання продукту через вальцювальні з'єднання і через ущільнення кришки плаваючою головки і через корозію труб трубного пучка.

Найбільш трудомісткими операціями при ремонті теплообмінної апаратури є:

1. Монтаж і демонтаж різьбових з'єднань, очищення теплообмінної апаратури.
2. Витяг трубних пучків, ремонт та виготовлення трубних пучків і їх установка.
3. Випробування теплообмінників.

Зниження трудомісткості робіт по монтажу і демонтажу різьбових з'єднань досягається застосуванням пневматичних і гідравлічних гайконвертів. Після розбалчювання знімається кришка апарата. Зменшення трудовитрат на опускання і підйом важкої кришки забезпечується виготовленням поворотних кронштейнів, які дозволяють після розбалчювання відвести в сторону кришку розподільну головку.

Витягувати трубні пучки можна тільки з теплообмінників з плаваючою головою. Найменш механізованим способом є вилучення трубного пучка за допомогою лебідок і домкратів. Прогресивніші спеціальні пристрої для вилучення - екстрактори. Вони являють собою пристрої, які кріпляться на фланці теплообмінника і за допомогою домкрата або лебідки виштовхують трубний пучок. Вилучений пучок рухається разом з візком, на якому кріпиться його передня частина.

У більшості випадків в якості екстрактів використовуються пристрої для захоплення трубного пучка в поєднанні з вантажопідйомним механізмом. Вилучений з горизонтальних теплообмінників трубний пучок підтримується в горизонтальному положенні автомобільним краном за допомогою талі і пересувного монорельса або візка.

Демонтаж проводиться в певній послідовності:

1. Знімаються кришки теплообмінного апарату.
2. Демонтують деталі плаваючої головки.
3. Проводиться попередній зсув трубчатки.
4. Тракторною лебідкою трубний пучок витягується з апарату.
5. За допомогою хомутів і стропів трубчатка підвішується до гака автомобільного крана, який після остаточного вилучення трубчатки опускає її на причіп для транспортування на місце очищення та ремонту.

Для очищення трубок використовуються наступні методи очищення:

1. Хімічний.
2. Абразивний (для нерозчинних відкладень).
3. Спеціальний.

Хімічне очищення здійснюється без розтину і розбирання теплообмінника. Для очищення від накипу застосовують 5-15% розчин соляної кислоти з добавками

інгібіторів. Для очищення від органічних відкладень використовуються вуглеводневі розчинники. Очищення від твердих відкладень виявляється ефективною при заповненні теплообмінника на добу 5% розчинном соляної кислоти з добавкою рідкого скла. Твердий осад розпушується в цьому розчині і потім легко змивається водою.

Абразивні методи очищення підрозділяються на механічний, гідропневматичний, гидромеханічний (струменем води високого тиску) і піскоструминний.

Механічне очищення проводиться за допомогою шомполів, свердел, щіток, шарошок, різців, бурів з подачею води або повітря для видалення продуктів очищення. Найпростішим пристосуванням є сталевий пучок з ершом зі сталевого дроту, приварених до прутки.

До спеціальних методів очищення відноється ультразвуковий. Ультразвукові перетворювачі через головки з вібраторами, що встановлюються в рідині (воді) всередині об'єму, що очищається, дозволяють повністю видалити тверді відкладення, що руйнуються під дією ультразвукових коливань і вимиваються звукопередаючим середовищем.

При ремонті трубного пучка допускається установка пробок на 15% трубок в кожному потоці пучка. При виході з ладу понад 15% трубок всі вони замінюються повністю.

Невеликі вм'ятини при товщині стінки корпусу або кришки, виконаних з вуглецевої сталі, не більше 3-4 мм здійснюється нагріванням. Якщо неможливо усунути зазначені вище дефекти ударами або нагріванням, то пошкоджені частини або видаляються, або на них ставляться накладки.

Дефектні штуцери і трубні решітки при досягненні максимальних величин зносу і прогину замінюються. Свищі і тріщини усуваються шляхом заварки або постановкою накладок з попереднім видаленням дефектної ділянки.

Монтаж теплообмінного апарата

Теплообмінні апарати постачають, як правило, в повністю зібраному вигляді після випробувань на міцність і щільність. Монтаж проводять або на відкритих

майданчиках, або на міжповерхових перекриттях технологічних цехів. В якості вантажопідйомних механізмів переважно використовують самохідні стрілові крани, в деяких випадках - трубоукладчики, щогли і портали, а також найпростіші вантажопідйомні механізми (поліспасти, талі), прикріплені до металоконструкцій.

Апарат перед підйомом у своєму розпорядженні таким чином, щоб положення центру мас апарату відповідало проектному. Після підйому апарат повертають на розтяжках в проектне положення навколо вертикальної осі і встановлюють на опори.

Під час вивірення теплообмінних апаратів відхилення від проектних осей і відміток, а також від горизонтальності і вертикальності складають: головних осей апарату в плані ± 10 мм; фактичної висотної позначки апарату ± 10 мм; осі вертикального апарату від вертикалі 3 мм на 1 м, але не більше 35 мм; горизонтального апарату від горизонталі 0,5 мм на 1 м.

Для компенсації температурних деформацій корпусу горизонтальних теплообмінників одну з опор (як правило, у рухомій трубній решітці апарата) виконують рухомою.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ Й ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

Виробництво метанолу, а зокрема відділення синтезу метанолу, є хімічним виробництвом, де переробляються і отримуються шкідливі для організму людини вибухонебезпечні та пожежонебезпечні газу і рідини.

Головними відмінними особливостями відділення синтезу метанолу є робота устаткування в умовах високих температур (до 280°C) і під тиском до 5,5 МПа.

Іншою особливістю є те, що в процесі виробництва виділяються газу: водень, окис вуглецю, метанол, які за певних концентраціях у повітрі утворюють вибухонебезпечні суміші.

Працівник, який не дотримується правил техніки безпеки, завдає неправної шкоди своєму здоров'ю, поруч працюючим співробітникам і державі в цілому. Для того, щоб звести до мінімуму кількість нещасних випадків, необхідно, щоб кожен працівник в критичній ситуації чітко знав свої функції. Тому адміністрацією встановлено термін обов'язкової здачі інструктажу з техніки безпеки раз на рік.

Охороною праці та технікою безпеки передбачені всі заходи з запобігання небезпекам, вжито заходи для нормальних умов праці.

8.1 Основні фізико-хімічні властивості, пожежо- та вибухонебезпечних сировини, готового продукту та відходів виробництва

Основні фізико-хімічні властивості речовин та показники вибухо- і пожежонебезпеки наведені нижче у табл. 8.1÷8.2.

Таблиця 8.1 - Основні фізико-хімічні властивості речовин

№ пп	Речовина	Емпірична формула	Агрегатний стан при н. у.	Температура плавлення, °С	Температура кипіння, °С
	Водень	H ₂	газ	-259,2	-252,8
	Окис вуглецю	CO ₂	газ	-205	-192
	Метанол	CH ₃ OH	рідина	-97,8	64,7

Таблиця 8.2 - Показники вибухо- і пожежонебезпеки

п/п	№	Речовина	Температура, °С			Концентраційні межі поширення полум'я, % об.	
			спалахи	за-ймання	самозай-мання	нижня межа	верхня межа
	1	2	3	4	5	6	7
	1	Водень	-	320	510	в повітрі 4,12 75,0 в кисні 4,1 96,0	
	2	Окис вуглецю	-	590	605	в повітрі 12,5 74,0	
	3	Метанол (сирець)	6 (по метиловому спирту)	13	440	в повітрі 6,98 35,5	

8.2 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори у виробництві метанолу

При порушеннях нормального технологічного режиму, правил техніки безпеки, а також при порушеннях герметичності у з'єднаннях апаратів та вузлів можуть мати місце такі види небезпек:

- прорив газу з подальшим загорянням і вибухом;
- утворення місцевих вибухонебезпечних концентрацій газів (природного газу, окису вуглецю, водню)
- отруєння внаслідок наявності газів, що містять токсичні компоненти (окис вуглецю, метан, метанол) і задушливі гази (азот, оксид вуглецю);
- термічні опіки при проривах горючих газів, водяної пари, води та конденсату;
- хімічні опіки при попаданні на тіло людини хімікатів (їдкий натр);
- ураження електричним струмом при несправності електрообладнання та електричних мереж, а також в результаті порушення правил електробезпеки;

- механічні травми при неправильному обслуговуванні машин, механізмів та іншого обладнання;
- загоряння мастильних і ущільнювальних мастил і обтиральних матеріалів при недотриманні правил зберігання їх і порушення протипожежних норм;
- порушення нормальних рівнів в сепараторах і збірниках;
- наявність гідравлічних пробок в трубопроводах, що може викликати гідравлічні удари і руйнування трубопроводів і апаратів;
- незадовільне продування трубопроводів і апаратів, що може викликати утворення вибухонебезпечних концентрацій і, за певних умов, вибух;
- небезпеки, пов'язані з експлуатацією обладнання, працюючого під тиском, виконанням робіт на висоті, в прямках, колодязях, закритих судинах і при поводженні з шкідливими речовинами.

8.3 Класифікація і категорії виробничих будівель і споруд (Табл. 8.3).

Таблиця 8.3 – Класифікація і категорії виробничих будівель і споруд

п/п	Найменування цеху, відділення	Категорія по пожежній небезпеці виробництва ОНТП 24 - 85	Ступінь вогнестійкості будинку СНИП 2.01.02-85	Класифікація приміщень й зовнішніх установок за ПУЭ		Група шкідливості виробничого процесу СНИП 2.09.04-87
				Клас приміщення	Категорія й група вибухонебезпечних сумішей	
	Зовнішня установка	А	II	В-1г	IIА-Т2	ШБ
	Насосна	А	II	В-1а	IIА-Т2	ШБ
	Аналізаторна	А		В-1а	IIА-Т2	ШБ
	Венткамера витяжна	А		В-1б	IIА-Т2	ШБ
	Венткамера приточная	Д		Не вибухонебезпечна		

Клас по санітарній характеристиці -2.

Ширина санітарно-захисної зони - 500м.

8.4 Заходи запобігання дії шкідливих і небезпечних виробничих чинників

Вентиляція і опалення

Вентиляція. Для запобігання накопиченню в приміщеннях газів у вибухонебезпечних концентраціях або в концентраціях, що перевищують санітарні норми, в нормальних умовах експлуатації передбачена безперервнодіюча примусова приточна і природна витяжна вентиляція.

У машинному залі компресії передбачена вентиляція приточна (8-кратна зміна об'єму в годину).

Для сповіщення про порушення в роботі вентиляційних агрегатів передбачена світлова і звукова сигналізація з винесенням на щит в ЦПУ.

Передбачена також подача повітря до щитів у компресорів і в ЦПУ, у яких найбільш тривалий час знаходиться персонал.

У приміщеннях з виробництвом категорій А, Б, В, Е всі металеві воздуховоди і устаткування приточуваних і витяжних вентсистем повинні бути заземлені.

Вентиляційні камери, майданчики і інші місця і установки вентобладнання повинні бути забезпечені електричним освітленням. Майданчики для обслуговування вентсистем, стаціонарні сходи і отвори в перекриттях повинні бути обмежені поручнями заввишки не меншого 1 метра. Венткамери повинні бути обладнані засобами пожежогасіння.

Оскільки основне технологічне устаткування знаходиться поза приміщенням, то розрахунок ведеться для ЦПУ, габаритні розміри якого складають: довжина – 15 м, ширина – 10 м, висота – 3,5 м.

В приміщення без шкідливих виділень слід подавати тільки припливне повітря (кратність 6-10 1/годину), щоб усунути можливе надходження шкідливостей з сусідніх приміщень.

Об'єм повітря, що подається, розраховують за формулою:

$$W=K \cdot V, \text{ м}^3/\text{годину}$$

де: K – кратність повітрообміну (приймається рівною 6 - 10 1/годину);

V – об'єм робочого приміщення, м^3 .

$$V = a * b * h$$

де: a, b, h – відповідно довжина, ширина, висота ЦПУ

$$V = 15 * 10 * 3,5 = 525 \text{ м}^3$$

$$W = 7 * 525 = 3675 \text{ м}^3/\text{год}$$

Вибираємо вентилятор відцентровий типу В-Ц4-70 (1-го виконання) для продуктивності $3700 \text{ м}^3/\text{год}$.

Номер вентилятора – 5

Натиск, мм.вод. ст. – 31

Частота обертання, об/хв – 1000

Електродвигун: ТИП – 4А80А6, потужність – 0,75 кВт

Опалення

У ЦПУ передбачена система повітряного опалення, сполученого із приточною вентиляцією. У цьому випадку опалювальним приладом є калорифер.

Витрату кількості тепла, необхідного для підігріву припливного вентиляційного повітря в зимовий період часу, можна визначити за формулою:

$$Q = W_{\text{пром}} \cdot C_v \cdot (t_{\text{подав}} - t_{\text{зовнішн}}) 1000/3600, \text{ Вт}$$

де: $W_{\text{пром}}$ – кількість припливного повітря, що подається промисловим вентилятором, $\text{м}^3/\text{час}$;

C_v – об'ємна теплоємність повітря; дорівнює $1,257 \text{ кдж}/\text{м}^3 \cdot \text{град}$;

$t_{\text{подав}}$ – температура повітря, що подається в приміщення; приймається рівною $22 \text{ }^\circ\text{C}$;

$t_{\text{зовнішн}}$ – температура зовнішнього повітря; для Сіверсько-Донецького басейну в осінньо-зимовий період середня температура зовнішнього повітря дорівнює мінус $7 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Q = 3700 \cdot 1,257 \cdot (22 - (-7)) 1000/3600 = 37465,58 \text{ Вт}$$

Площа поверхні опалювальних пристроїв (калориферів) визначається за формулою:

$$H = Q/506, \text{ екм}$$

де: екм – еквівалентний квадратний метр – це площа поверхні нагрівання опалювального пристрою, що віддає 506 Вт теплоти при різниці середньої температури теплоносія й температури повітря в приміщенні 64,5 °С; 1 екм = 0,82 м².

$$N=37465,58/506=74 \text{ екм}=60,68 \text{ м}^2$$

За розрахунковою площею опалювальних пристроїв здійснюється підбір калориферів за даними додатку Е. Калорифер типа КВ11Б-ПУЗ, площа поверхні дорівнює 80,3 м².

8.4.2 Освітленість ЦПУ

У цеху передбачається природне й штучне освітлення на робочих місцях. Природне освітлення здійснюється через вікна, розміри яких виконані за нормами СН-245-72. Штучне освітлення забезпечується світильниками денного світла ШПД-2 з люмініцентними лампами ПБ відповідно до категорій приміщення.

Сумарна площа віконних отворів приблизно розраховується, як добуток площі приміщення на світловий коефіцієнт приміщення і визначається за формулою:

$$S_{\text{вік}} = \left(\frac{1}{5} \div \frac{1}{6} \right) \cdot S_n, \text{ м}^2,$$

де: $S_{\text{вік}}$ – загальна площа віконних отворів, м²;

S_n – площа виробничого приміщення, м²;

$1/6 \div 1/5$ – світловий коефіцієнт для приміщень хімічних виробництв.

$$S_n = a \cdot y = 15 \cdot 10 = 150 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{вік}} = \frac{1}{5} \cdot 150 = 30 \text{ м}^2$$

Розмір одного вікна: висота 2 м, ширина 3 м

Кількість вікон - 5 штук.

Число джерел світла, потрібне для освітлення приміщення, визначається за методом світлового потоку за формулою:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot K}{F \cdot U \cdot Z},$$

де: E – мінімально допустима освітленість робочих поверхонь, лк. Залежить від зорових умов роботи (від “особливо точної” до “грубої”), від розмірів об'єктів розпізнавання, від фону робочої поверхні, від контрасту між об'єктом розпізнавання і фоном робочої поверхні.

S – площа приміщення, що освітлюється, m^2 ;

F – світловий потік лампи, лм; залежить від потужності лампи та напруги в мережі;

K – коефіцієнт запасу. Залежить від умов виробництва і типу джерела освітлення;

Z – поправочний коефіцієнт, який залежить від конструкції стандартного світильника;

U – коефіцієнт використання освітлювальної установки, який залежить від конструкції світильника, коефіцієнта відбиття стелі і стін, а також показника приміщення i .

Для розряду роботи III, при використанні ламп розжарювання $E = 100$ лк;

$$S = a * y = 15 * 10 = 150 \text{ м}^2$$

Для люмінесцентних ламп U можна приймати рівним 1.

$$n = \frac{100 \cdot 150 \cdot 1.3}{2510 \cdot 1 \cdot 0.83} = 10 \text{ шт.}$$

Значення показника приміщення i визначається за формулою:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)},$$

де: a і b – довжина і ширина приміщення, м;

h – висота від рівня робочого місця до нижньої точки підвісу світильника, м.

Рівень робочого місця приймається рівним 0,8 м.

Висота підвісу світильника може змінюватися від 0 (якщо світильник розташований на стелі) до певної величини.

$$h = H - 1,2 - 0,8 = 3,5 - 1,2 - 0,8 = 1,5 \text{ м}$$

$$i = \frac{15 \cdot 10}{1.5 \cdot (15 + 10)} = 4$$

Потужність електроосвітлювальної установки з урахуванням місцевого освітлення визначається за формулою:

$$N = \frac{n \cdot W + (0,1 \div 0,2) \cdot n \cdot W}{1000}, \text{ кВт},$$

де: n – розрахункова кількість ламп для освітлення даного приміщення;

W – потужність однієї лампи, Вт;

$(0,1 \div 0,2) \cdot W$ – додаткова потужність для ламп місцевого освітлення, Вт

$$N = \frac{10 \cdot 200 + 0,1 \cdot 10 \cdot 200}{1000} = 2,2 \text{ кВт}$$

8.4.3 Заходи від шуму й вібрації

Шум і вібрація на хімічних виробництвах є результатом коливання тіл (насосів, компресорів, колон і інших апаратів), передаваного безпосередньо або на відстані іншим об'єктам.

Вібрація приводить до передчасного зносу деталей, механізмів, може викликати аварію, шкідливо діє на серцево-судинну і нервову системи організму, викликає зниження слуху і навіть стійку глухоту, є причиною зниження працездатності, ослаблення пам'яті, уваги, гостроти зору, що збільшує можливість травматизму. Шум викликає поява тугоухості.

Перш за все необхідно прагнути усунути або зменшити шум і вібрацію в джерелі їх освіти, а потім застосовувати заходи зниження шуму по шляху його розповсюдження і засобу індивідуального захисту.

Для усунення або зменшення вібрації і шуму машин, яка виникає при їх роботі можна використовувати наступні прийоми:

- жорстке кріплення віброуючих деталей і вузлів, видалення зазорів в сполученнях машин і механізмів;
- амортизація і віброізоляція за допомогою сталевих пружин (ресор) і пружних матеріалів (гума, повсть, дерево, пробка);
- балансування рухомих і деталей, що особливо обертаються, і механізмів;
- збільшення фундаменту і використання масивних металевих плит у фундаментних опорах;
- ізоляція фундаменту за допомогою повітряних розривів (акустичних швів);

- застосування динамічних віброгасителів;
- заповнення потенційних резонуючих порожнеч демпфуючим матеріалом (гума, повсть, азбест);
- зміна числа оборотів джерела вібрації для збільшення розриву між власною частотою коливань і резонансною частотою.

На установці також використані наступні методи захисту від шуму: для обслуговуючого персоналу компресорною передбачено окреме приміщення, венти камери винесені в окремі приміщення, вентилятори встановлені на віброізолюючі опори, на воздуховодах застосовані гнучкі вставки. Крім того, для обслуговуючого персоналу компресорною передбачені індивідуальні шумофони.

8.4.4 Заходи захисту від статичної електрики

На хімічних заводах вибухи і пожежі можуть викликатися статичною електрикою. Заряди статичної електрики володіють високим потенціалом і тому представляють серйозну небезпеку у виробництвах, де є вибухонебезпечні середовища. У разі накопичення заряду певної величини може відбутися електричний розряд, іскра якого здатна викликати займання горючої суміші. Крім того, статична електрика несприятливо впливає на організм людини.

Бензин і інші нафтопродукти є діелектриками, тому вони здатні накопичувати електричні заряди.

Заряди статичної електрики виникають при перекачуванні нафтопродуктів по трубопроводах і гумових шлангах, при перемішуванні продуктів, при наливанні їх в ємність падаючим струменем, при переливанні з судини в судину, а також при перевезенні в цистернах.

Одним з основних способів боротьби із статичною електрикою є заземлення апаратів, ємностей, трубопроводів і устаткування. За наявності заземлення заряди статичної електрики, що утворюються, відводяться в землю. Вся система заземлення повинна мати такий опір проходженню електричного струму, при якому виключається накопичення електричних зарядів на стінках апаратів, трубопроводів і устаткування.

Для запобігання виникненню зарядів статичної електрики, захисту від вторинних проявів блискавки передбачені наступні заходи:

- все металеве і електропровідне неметалічне устаткування, апаратура, комунікації, металоконструкції установки приєднані до заземляючого пристрою і є на всьому протязі безперервним електричним ланцюгом;
- всі апарати і трубопроводи герметизовані;
- діаметри всіх трубопроводів розраховані і прийняті з урахуванням допустимих швидкостей руху рідини по трубопроводах згідно ДНАОП 0.00-1.29-97 «Правила захисту від статичної електрики»;
- на установці прийняті буйкові рівнеміри, які встановлюються безпосередньо на фланці виносних камер або технологічних апаратах, що мають заземлення;
- з метою виключення наливання нафтопродуктів вільнопадаючим струменем для запобігання накопиченню статичної електрики передбачено надходження продуктів нижче за рівень рідини і відстань від кінців завантажувальних труб до дна резервуарів, ємкостей складає не більше 200 мм;
- обслуговуючий персонал повинен використовувати спецодяг з тканин не накопичуючих зарядів статичної електрики і взуття, искрообразование, що виключає.

Для забезпечення безперервного відведення зарядів статичної електрики з тіла людини у вибухонебезпечному приміщенні (компресорна) підлоги виконані електропровідними.

8.4.5 Електробезпека

При будівництві установки по її периметру прокладається захисний заземляючий пристрій. Воно складається із заземлителя в яких застосовуються сталеві стрижні і сполучної смуги.

При роботі з електроустаткуванням необхідно:

- при проведенні огляду, ремонтів і інших робіт на агрегатах і апаратах, що приводяться в рух від електродвигунів, необхідно заздалегідь розібрати схему живлення даного електродвигуна, вивісити плакати :”Не включати, працюють люди”;

- кожен робочий, що працює з електроустаткуванням, зобов’язаний мати на робочому місці діелектричні гумові рукавички і діелектричний гумовий килимок;

- розбирання і ремонт електроустаткування, електродвигунів і електроапаратури повинні проводитися тільки при знятій напрузі і лише електроремонтним персоналом, що має на цей дозвіл відповідних організацій;

- до роботи з кранами і іншими вантажопідйомними механізмами допускаються спеціально навчені люди.

Для усунення переходу напруги на корпус і на не струмоведучі частини електричного і технологічного обладнання за замкнення на них однієї з фаз застосовують захисне заземлення або занулення.

Розрахунок заземлюючого контуру здійснюють, виходячи з умови, що загальний опір заземлюючого контуру $R_{ззн}$ повинен бути меншим за 4 Ом.

Загальний опір захисного заземлюючого пристрою визначається за формулою:

$$R_{ззн} = \frac{R_3 \cdot R_{см}}{R_{см} \cdot n \cdot \eta_3 + R_3 \cdot \eta_{см}}, \text{ Ом,}$$

де: R_3 – опір заземлювача, в якості якого можуть використовуватись металеві стрижні, труби, кутки і таке інше, Ом;

$R_{см}$ – опір металевої смуги, що з’єднує заземлювачі, Ом;

n – кількість заземлювачів;

η_3 – коефіцієнт екранування заземлювача; приймається в межах 0,2–0,9, приймаємо $\eta_3 = 0,8$;

$\eta_{см}$ – коефіцієнт екранування з’єднуючої смуги; приймається в межах 0,1–0,7, $\eta_{см} = 0,6$.

Опір заземлювача визначається за формулою:

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi \cdot \ell} \left(\ln \frac{2 \cdot \ell}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + \ell}{4 \cdot t - \ell} \right), \text{ Ом},$$

де: ρ – питомий електричний опір ґрунту, Омм; залежить від типу ґрунту. Вибирається за даними таблиці 13, для супіску 150 – 400 Ом.м; $\rho = 200$ Ом.м;

ℓ – довжина заземлювача; для стрижнів складає до 10 м, для труб 2–3 м;

d – діаметр заземлювача, м; складає для стрижнів 0,01–0,03 м, для труб 0,03 – 0,05 м;

t – відстань від середини розташованого в ґрунті заземлювача до рівня землі, м; Необхідно враховувати, що відстань від верхнього кінця заземлювача до поверхні землі повинна бути не меншою за 0,5 м.

$$t = 0,5 \cdot 1 + t; \quad t = 0,5 \cdot 10 + 0,5 = 5,5 \text{ м}$$

Опір смуги, що з'єднує заземлювачі, визначається за формулою:

$$R_{см} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot t'}, \text{ Ом},$$

де: L – довжина смуги, що з'єднує заземлювачі, м; за контурного заземлення приблизно дорівнює периметру виробничої будівлі;

$$L = 2(a+b) = 2(40+10) = 100 \text{ м};$$

b – ширина смуги, м; звичайно дорівнює 0,03 м за прокладання заземлюючого контуру всередині будівлі і 0,05 м – зовні будівлі; $b = 0,05$ м;

t' – відстань від верхнього кінця заземлювача до поверхні землі, м; звичайно приймається не менше 0,5 м.

Кількість заземлювачів захисного заземлюючого пристрою визначається за формулою:

$$n = \frac{\Psi \cdot R_3}{4 \cdot \eta_3},$$

де: Ψ – коефіцієнт сезонності; який залежить від кліматичної зони території. Місцевість Сіверсько-Донецького басейну відповідає III кліматичній зоні (визначається за температурою повітря в січні – мінус 10 – 0 °С; в липні 22 – 24 °С; терміном замерзання води ≈ 100 днів), для якої $\Psi = 2$;

R_3 – опір заземлювача, Ом;

4 – припустимий загальний опір, Ом;

η_3 – коефіцієнт екранування заземлювача.

$$R_3 = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 10} \left(\ln \frac{2 \cdot 10}{0,03} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 5,5 + 10}{4 \cdot 5,5 - 10} \right) = 22,2, \text{ Ом}$$

$$R_{см} = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 100} \cdot \ln \frac{2 \cdot 100^2}{0,05 \cdot 0,5} = 4,33 \text{ Ом}$$

$$n = \frac{2 \cdot 22,2}{4 \cdot 0,8} = 14 \text{ шт.}$$

Визначаємо загальний опір заземляючого пристрою:

$$R_{зп} = \frac{22,2 \cdot 4,33}{4,33 \cdot 14 \cdot 0,8 + 22,2 \cdot 0,6} = 1,56 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Загальний опір заземляючого пристрою $R_{зп} = 1,75 < 4 \text{ Ом}$, умова виконується.

Висновок: для забезпечення електробезпеки необхідно 14 заземлителів.

9 ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ

9.1 Заходи щодо захисту атмосферного повітря

Виробництво метанолу є одноагрегатною схемою, яка працює безперервно 8044 годин в році з однією зупинкою всього агрегату на капітальний ремонт (620 годин) і поточний ремонт (96 годин). Резервне обладнання, у тому числі дожимаючий і циркуляційний компресори, не передбачається. Така організація виробництва зводить до мінімуму викиди в атмосферу, пов'язані з пуском, настройкою, зупинкою виробництва, а також з перемиканням на резервне обладнання.

При зупинці агрегату синтезу, компресорів і адсорберів на ремонт передбачається утилізація горючих газів шляхом послідовного викиду їх в колектор продувних і танкових газів з тиском $P_{\text{надл.}}=3$ атм. і колектор газів десорбції з тиском $P_{\text{надл.}}=0,3$ атм.

З тиском нижче 0,3атм. агрегат продувається на свічку в атмосферу. Викид від циркуляційного компресора відсутній і передбачається тільки на випадок пошкодження ущільнення в компресорі.

Викид від збірника реакційної води проводиться під час відновлення каталізатора в реакторі. В збірнику продувається реакційна вода з сепаратора при відновленні каталізатора в середовищі азоту або природного газу з дозуванням водню. Тому на свічку скидатиметься газ, що не містить шкідливих компонентів. При переведенні агрегату на синтез-газ видача метанольної води з сепаратора повинна проводитися в збірнику метанолу.

Характеристика викидів CO в атмосферу приведена в таблиці 9.1

Таблиця 9.1 - Викиди CO в атмосферу

Джерело виділення шкідливих речовин	Час роботи на рік	Висота джерела, Н, м	Діаметр джерела труби, Д, м.	Швидкість, м/с	Об'єм, м ³ /с	Температура, °С	Назва речовини, що викидається	Концентрація, мг/м ³
Система контакту поля газу	8044	34	0,100	0,018	0,000142	20	СО	30500
Підігрівач газу		25	0,6	5,375	1,56	300		5
Газоаналізатор свіжого газу		6	0,05	0,069	0,00014	-2 +4		29600
Газоаналізатор циркуляційного газу		6	0,05	0,069	0,00014	-2 +4		75000
Поршнєві циркуляційні компресори		20	0,025	0,22	0,0011	-2 +4		75000
Газоаналізатор циркуляційного газу		12	0,02	0,27	0,000084	-2 +4		85000

9.2 Тверді відходи

Твердими відходами виробництва метанолу є каталізатори сіркоочистки, первинного та вторинного реформінгу, синтезу. Також відходами є відпрацьовані компресорні масла.

Відходи каталізаторів відправляються на переробку.

Характеристика твердих відходів наведена в таблиці 9.2

Таблиця 9.2 – Таблиця твердих відходів

Найменування відходу, відділення, апарат	Місце складування, транспорт, тара	Кількість відходів, кг/добу	Періодичність утворення	Характеристика твердих відходів			
				Хімічний склад, вологість, % вес.	Фізичні показники, густина, кг/м ³	Клас небезпеки відходів	
Відходи каталізаторів і контактних мас з реактра синтезу метанолу R-2101	Направляються підприємству або організації, яка має ліцензію на діяльність. Зберігання здійснюється в спеціально обладнаному місці	Одночасно 65 т	При перезавантаженні каталізатора 1 раз на 5 років	uO nO I ₂ O ₃	0÷60 0÷30 ÷15	1250 ÷1300	3

9.3 Стічні води

У виробництві метанолу мають місце як постійні, так і періодичні стоки, які містять шкідливі речовини.

Стоки, яку не містять шкідливі речовини, подаються в пром зливну каналізацію.

Стоки без тиску з вмістом шкідливих речовин подаються по безнапірній хімбрудній каналізації в ємність хімбрудних стоків. Стоки під тиском з вмістом шкідливих речовин подаються в ємність хімгрязних стоків по естакадам установки. З ємності стоки насосами подаються на очисні споруди підприємства.

Характеристика і кількість стоків приведені і таблиці 9.3

Таблиця 9.3 – Таблиця стічних вод і рідких відходів.

Найменування стічних вод, що скидаються, відділення, апарат	Місце скидання	Кількість стоків, м ³ /добу	Періодичність сбросу	Характеристика сбросу	
				Вміст контрольованих шкідливих речовин у скидах (по компонентах) мг/дм ³	
Продувальна вода системи пароутворення циклу синтезу. Барабан продувки D-1705 паросборника циклу синтезу.	В пром зливову каналізацію	12,46÷13,58	Постійно	pH	9÷11
				PO ₄ ³⁻	<10
				Розчин NH ₃	<10
				Жорсткість	до 4
				XПК _{теор.}	~30
		2,01	Періодично, протягом 1 хвилини 1 раз у зміну	pH	9÷11
				PO ₄ ³⁻	<10
				NH ₃	<10
				Жорсткість	до 4
				XПК _{теор.}	~30

9.4 Шкідливий вплив промислових викидів на здоров'я

Окис вуглецю. При вдиханні невеликих концентрацій (до 1 мг/л) вага та відчуття здавлювання голови, сильний біль у чолі та скронях, запаморочення, шум у вухах, тремтіння, почуття слабості, спрага, частішання пульсу, нудота. Послідовність появи цих симптомів може бути різною. Слабкість у ногах свідчить про поширення дії на спинний мозок. Найбільше при отруєнні страждає центральна

нервова система. Наслідками гострого отруєння можуть бути тривалі головні болі та запаморочення. У важких випадках через якийсь час після видужання повторюванні непритомності, глибокий ступор, кома. З боку серцево-судинної системи відзначаються функціональні розлади: лабільність і частішання пульсу, стенокардичні явища, тимчасове розширення серця, явища серцевої язви, міокардит. Інфаркт міокарда може розвинути після гострого отруєння, перенесеного навіть без видимих наслідків. Зміни в обміні речовин: схуднення, підвищення змісту цукру в крові, молочної кислоти, ацетонових тіл, холестерину.

9.5 Вплив на тваринний світ

Окис вуглецю. При дуже високих концентраціях тварини раптово падають і гинуть протягом 1 хв. Або навіть скоріше. При менших концентраціях спостерігається занепокоєння, задишка, уповільнення подиху, судороги, розширення зіниць, втрата чутливості. Поступово робиться усе спокійніше, подих більш поверхневим; через 5/10 хв. тварина помирає. При ще менших концентраціях легке збудження, рухи стають невірними. Тварини мляві, рефлекси зникають, подих усе більш поверхневий, спостерігаються легкі м'язові скорочення, судороги.

Висновки

У роботі спроектовано рекупераційний теплообмінник виробництва металу потужністю 108000 тонн у рік. Конструкція апарата й розрахунки виконані відповідно до діючої нормативно-технічної документації.

Розглянуті питання виготовлення апарата, ремонту і монтажу, розроблені заходи щодо охорони праці та екології.

Пропонується досягти задану потужність виробництва за рахунок збільшення продуктивності рекупераційного-теплообмінника, який є «вузьким місцем» у технологічній схемі базового виробництва карбаміду на ПрАТ «Сєверодонецьке об'єднання «Азот».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Капкин В.Д., Савицкая Г.А., Чапурин В.И. Технология органического синтеза – М: Химия, 1987.
2. Ермакова В.В. «Производство капролактома» // Химия Украины: 2001 - № 7 – с. 90.
3. Заключение по очистке бензола от серы на катализаторе СНМ-У в реакторе РТ цеха Л ½, подписанное начальником НТЦ к.т.н. Раменским А.В.
4. Производство капролактома / Под редакцией В.И. Овчинникова, В.Р. Ручинского – М: Химия, 1977 – 248с.
5. Мурзин Д.Ю., Кулькова Н.В. Термодинамика реакций гидрирования бензола // Химия Р.Ж., 1991, с. 118.
6. Проскурин А.М., Навахолина М.Д. Исследование кинетики гидрирования бензола на никельсодержащих катализаторах // Химия Р.Ж., 1989, с. 161 – 163.
7. Любарский Г.Д., Снаговский Ю.С., Островский Г.М. Кинетика гидрирования бензола на никеле // Кинетике и катализ: - 1966 - № 2 – с. 258-265.
8. Темкин М.И. Кинетика стационарных реакций, ДАН СССР – 1963 – т. 152 - № 1 – с. 156-158.
9. Технологический регламент № 116 отделения гидрирования цеха циклогексанола производства капролактама, соли АГ и органических кислот.
10. Романков П.Г., Носков А.Н. Сборник расчетных диаграмм по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – М – Л: Химия, 1977, с. 30.
11. Краткий справочник физико-химических величин / Под редакцией А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – Л: Химия, 1983, с. 232.
12. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л: Химия, 1981, с. 576.
13. Стенцель И.И. Автоматизация технологических процессов химических производств – Киев: 1995, с. 360.
14. Долин П.А. Справочник по технике безопасности – М: Энергоатомиз-

дат, 1984, с. 823.

15. Рябов С.М. Пожарная опасность веществ и материалов – М: Химия, 1974, с. 320.

16. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці та навколишнього середовища” в дипломних проектах для студентів V-VI курсов / Скл. Г.В. Поненко, В.П. Мякухина, О.Л. Шарун – Северодонецк, 2000, с. 33.

17. Методические указания к выполнению экономических расчетов в дипломных проектах для студентов VI курса / Сост. А.Н. Солдатов и др. – Днепропетровск, 1992, с. 30.

18. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту „Цивільна оборона” для студентів всіх форм навчання / Скл. О.Г. Максименко, Ю.П. Кудюков, В.В. Мілоцький – Северодонецк, 2000, с. 306.

19. Методические указания к выполнению расчетов на жесткость, прочность и устойчивость кожухотрубчатых теплообменных аппаратов: Иванченко В.В. Барвин, А.И., Генкина И.М. Северодонецк 2002г.

20. Розрахунок на міцність, жорсткість і герметичність фланцевих з*єднань помсудин та апаратів/Укладачі: Барвин А.И., Генкина И.М, Иванченко В.В.– Северодонецк, СТИ, 2005, - 68с.

21. Охрана окружающей среды: справочник составил: Шариков Л. П.- Л: „Судостроение” :1978: 560 стр.

22. Методические указания к тепловому расчету кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. Для студентов специальности 7.090220/Сост. В.Б. Модестов, В.А. Носач.-Северодонецк, СТИ, 2003.-52 с., 4 прил.

ДОДАТКИ

Додаток А

Розрахунок фланцевого з'єднання люка

Визначення розрахункових параметрів

Розрахункова температура

Тому що фланець ізолюваний, то приймаємо за розрахункову температуру найбільшу температуру корпусу апарата (деяке завищення температури йде в запас міцності).

$$t_{\phi} = 320^{\circ}\text{C}$$

Температура шпильок для ізолюваного апарата розраховується по формулі

$$t_{\delta} = 0,97 \cdot t_{\phi}, \quad (\text{A.1})$$

$$t_{\delta} = 0,97 \cdot 320 = 310,4^{\circ}\text{C}$$

Вибираємо матеріал шпильок – 25Х1МФ ДСТ 20072-74 [36]

Визначимо напруження, що допускаються, для матеріалу шпильок :

– при розрахунковій температурі:

$$[(\sigma_{\delta})] = 198 \text{ МПа}$$

– при 20°C:

$$[\sigma_{\delta}^{20}] = 238 \text{ МПа}$$

Приймаємо фланець приварний встик під прокладку восьмикутного перетину зі сталі 12ХМ. Матеріал прокладки сталь 08Х13.

З розмірами (рис. 4.4): $D = 470$ мм; $D_1 = D_n = 695$ мм; $D_2 = D_6 = 635$ мм $D_3 = 558$ мм; $D_6 = 532$ мм; $D_7 = 568$ мм ; $b = 75$ мм ; $S = 20$ мм ; $d = 33$ мм; $l = 130$ мм ; $d_r = M30$; $n = 24$; $P_y = 6,3$ МПа.

Схема фланцевого з'єднання люка приведена на рис. А.1.

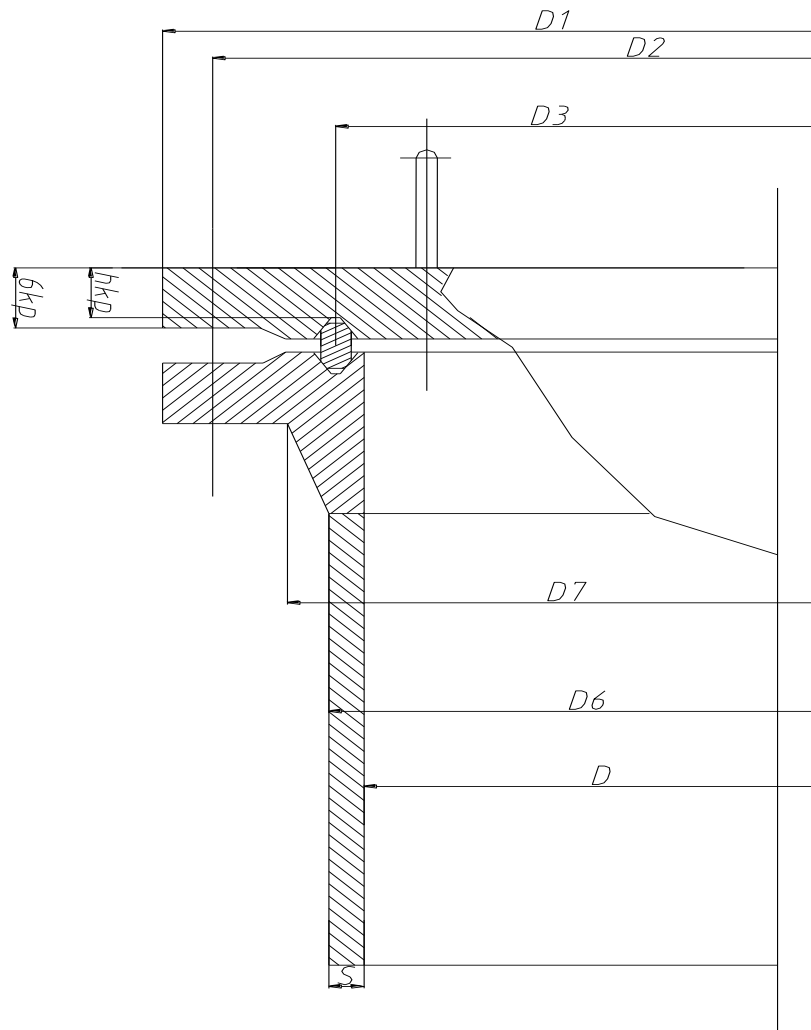


Рисунок А.1 – Фланцеве з'єднання люка

Напруження, що допускаються, для матеріалу приварних встик фланців у перетині товщиною S_1 при розрахунку на статичну міцність визначають по формулах

– у робочих умовах

$$[\sigma]_{S1} = 1.5 \cdot [\sigma], \quad (\text{A.2})$$

– в умовах затягування

$$[\sigma]_{S1}^{20} = 1.5 \cdot [\sigma]^{20}, \quad (\text{A.3})$$

– в умовах іспитів

$$[\sigma]_{S1}^H = 2.0 \cdot [\sigma]^{20}, \quad (\text{A.4})$$

де $[\sigma], [\sigma]^{20}$ – напруга, що допускається, для матеріалу фланців відповідно при розрахунковій температурі і при температурі 20°C, МПа. Напруги, що допускаються, визначаються по методичних вказівках

$$[\sigma] = 139 \text{ МПа}$$

$$[\sigma]^{20} = 147 \text{ МПа.}$$

Розрахуємо напруги, що допускаються

– у робочих умовах

$$[\sigma]_{s1} = 1.5 \cdot [139] = 208,5 \text{ МПа}$$

– в умовах затягування

$$[\sigma]_{s1}^{20} = 1.5 \cdot 147 = 220,5 \text{ МПа}$$

– в умовах іспитів

$$[\sigma]_{s1}^H = 2,0 \cdot 147 = 294 \text{ МПа}$$

Напруга, що допускається, для матеріалу приварних встик фланців у перетині товщиною S_0 при розрахунку на статичну міцність визначають по формулах:

– у робочих умовах

$$[\sigma]_{s0} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{R_{p0,2}}{R_m} \right) \cdot [\sigma], \quad (\text{A.5})$$

– в умовах затягування

$$[\sigma]_{s0}^{20} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{R_{p0,2}^{20}}{R_m^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20}, \quad (\text{A.6})$$

– в умовах іспитів

$$[\sigma]_{s0}^H = \left(6,0 - 2,7 \cdot \frac{R_{p0,2}^{20}}{R_m^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20}, \quad (\text{A.7})$$

де $R_{p0,2}, R_{p0,2}^{20}$ - мінімальне значення умовної границі текучості матеріалу фланця відповідно при розрахунковій і температурі 20°C, МПа;

R_m, R_m^{20} - мінімальне значення тимчасового опору (межі міцності) матеріалу фланця відповідно при розрахунковій і температурі 20°C, МПа.

Приймаємо по методичних указівках [20]

$$R_{p0,2} = 210 \text{ МПа}, \quad R_{p0,2}^{20} = 220 \text{ МПа}$$

$$R_m = 448 \text{ МПа}, \quad R_m^{20} = 450 \text{ МПа}$$

Розрахуємо напругу, що допускається

– у робочих умовах

$$[\sigma]_{s0} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{210}{448} \right) \cdot [139] = 742,781 \text{ МПа}$$

– в умовах затягування

$$[\sigma]_{s0}^{20} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{220}{450} \right) \cdot 147 = 776,65 \text{ МПа}$$

– в умовах іспитів

$$[\sigma]_{s0}^u = \left(6,0 - 2,7 \cdot \frac{220}{450} \right) \cdot 147 = 1375,92 \text{ МПа}$$

Розрахунок фланцевго з'єднання для умов іспиту проводити не потрібно, якщо виконається умова

$$P_u \leq P \cdot 1,35 \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]}, \quad (\text{A.8})$$

$$P \cdot 1,35 \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]} = 5,486 \cdot 1,35 \cdot \frac{147}{139} = 7,832 \text{ МПа}$$

$$P_u = 6,605 \text{ МПа}$$

$$6,605 \leq 7,832$$

Розрахунок фланця в умовах іспиту не проводимо.

Розрахунок допоміжних величин

Ефективна ширина прокладки восьмикутного перетину, мм (рис.А.2):

$$b = \frac{b_n}{4} \quad \text{при} \quad b_n > 15, \quad (\text{A.9})$$

де b_n - виконавча ширина прокладки, мм, за ДСТ 28759.8-90.

Розміри прокладки наведено на рис. А.2

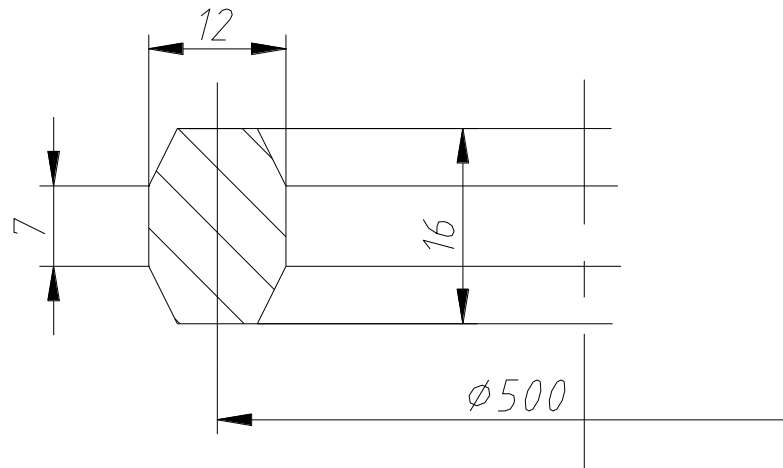


Рисунок А.2 – Прокладка

$$b_n = 12 \text{ мм}$$

$$b = 12/4 = 3 \text{ мм}$$

Лінійна податливість для металевих прокладок

$$Y_n = 0 \text{ мм/Н}$$

Піддатливість шпильок, мм/Н (рис. А.3)

$$Y_\delta = \frac{l_\delta}{E_\delta^{20} \cdot f_\delta \cdot n}, \quad (\text{А.10})$$

де $l_\delta = \{l_{\delta 0} + 0,56 \cdot d\}$ - розрахункова довжина шпильки, мм ,

$E_\delta^{20} = 200000$ МПа – модуль подовжньої пружності матеріалу шпильки при 20°C;

$f_\delta = 520 \text{ мм}^2$ – площа поперечного переріза шпильки по внутрішньому діаметрі різблення;

$l_{\delta 0} = 137$ мм – відстань між опорними поверхнями гайок;

$d = 30$ мм – зовнішній діаметр шпильки;

$n = 24$ – кількість шпильок.

З'єднання шпилькою наведено на рис. А.3.

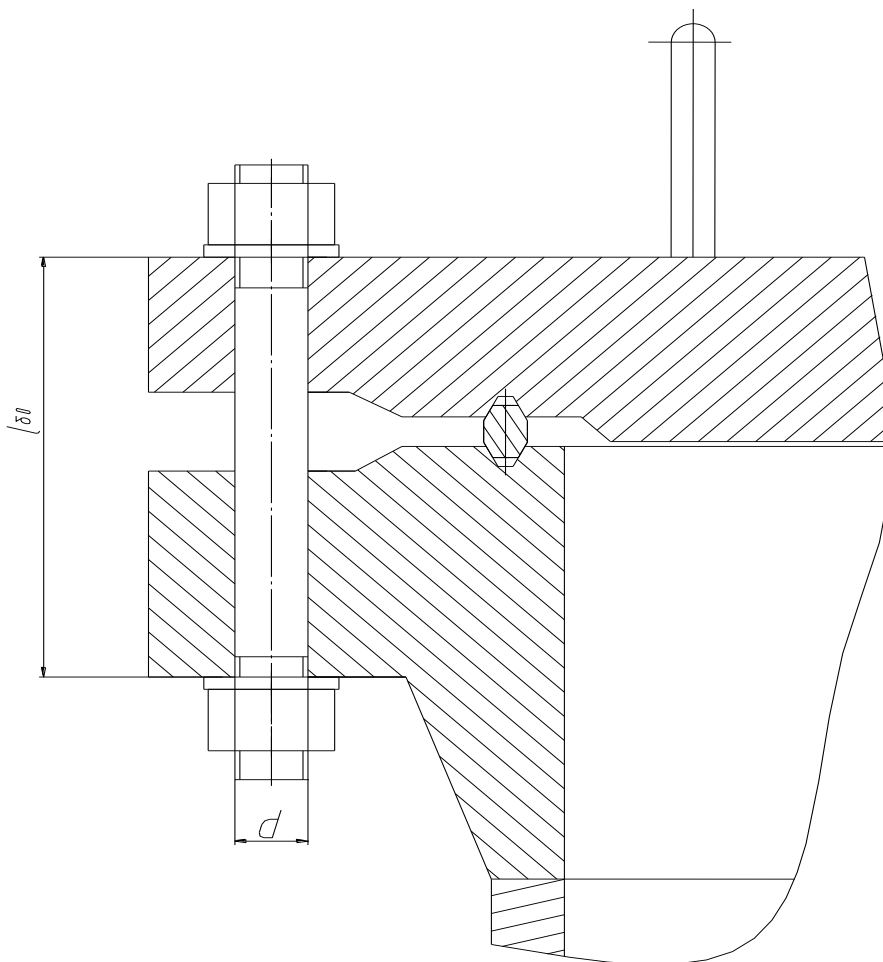


Рисунок А.3 – З'єднання шпилькою

$$l_{\delta} = \{137 + 0,56 \cdot 30\} = 153,8 \text{ мм}$$

З обліком проведених вище розрахунків одержимо

$$Y_{\delta} = \frac{153,8}{200000 \cdot 520 \cdot 24} = 6,162 \cdot 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Визначимо кутову піддатливість фланця, $1/\text{Н} \cdot \text{мм}$

$$Y_{\phi} = \frac{[1 - w \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda) \cdot \psi_2]}{E^{20} \cdot h^3}, \quad (\text{A.11})$$

$$\text{де } w = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot I^2)}, \quad (\text{A.12})$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{D \cdot S_0}}, \quad (\text{A.13})$$

$$\psi_2 = \frac{D_n + D}{D_n - D}, \quad (\text{A.14})$$

$E^{20}=200000\text{МПа}$ – модуль подовжньої пружності матеріалу фланця при температурі 20°C ;

$h=75\text{ мм}$ – висота фланця;

$$\Psi_1 = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{D_n}{D}\right), \quad (\text{A.15})$$

$$I = h / S_0, \quad (\text{A.16})$$

З урахуванням приведених вище залежностей одержимо значення коефіцієнтів:

$$\lambda = 75 / \sqrt{470 \cdot 20} = 0,774$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{695}{470}\right) = 0,217$$

$$\psi_2 = \frac{695 + 470}{695 - 470} = 5,178$$

$$I = 75 / 20 = 3,75$$

$$w = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,774 \cdot (1 + 0,217 \cdot 3,75^2)} = 0,216$$

З урахуванням значення коефіцієнтів визначимо кутову піддатливість

$$Y\phi = \frac{[1 - 0,216 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,774) \cdot 5,178]}{200000 \cdot 75^3} = 3,415 \cdot 10^{-11} \text{ I/H}\cdot\text{мм}$$

Кутова піддатливість плоскої кришки визначається по рівнянню

$$Y_{kp} = X_{kp} / (E_{kp}^{20} \cdot h_{kp}^3), \quad (\text{A.17})$$

$$\text{де: } X_{kp} = \frac{0,67 \cdot [K_{kp}^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K_{kp}) - 1]}{(K_{kp} - 1) \cdot [K_{kp}^2 - 1 + (1,857 \cdot K_{kp}^2 + 1) \cdot (h_{kp} / \delta_{kp})^3]}, \quad (\text{A.18})$$

$h_{kp} = 48\text{ мм}$, $\delta_{kp} = 53\text{ мм}$ – товщина плоскої кришки відповідно в зоні ущільнення і на зовнішньому діаметрі;

$$K_{kp} = D_n / D_{cn}, \quad (\text{A.19})$$

де $D_{cn} = 500\text{ мм}$ – середній діаметр прокладки.

Розрахуємо коефіцієнти

$$K_{kp} = 695 / 500 = 1,39$$

$$X_{kp} = \frac{0,67 \cdot [1,39^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,39) - 1]}{(1,39 - 1) \cdot [1,39^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,39^2 + 1) \cdot (48/53)^3]} = 0,935$$

Кутова піддатливість плоскої кришки визначається по рівнянню (A.20)

$$Y_{kp} = 0,935 / (200000 \cdot 48^3) = 4,228 \cdot 10^{-11} \text{ I/H} \cdot \text{мм}$$

Визначимо плечі моментів сил, що діють на фланцеву сполуку по формулах

$$b = 0,5 \cdot (D_{\delta} - D_{cn}), \quad (\text{A.21})$$

$$b = 0,5 \cdot (635 - 500) = 67,5 \text{ мм}$$

$$e = 0,5 \cdot (D_{cn} - D - S), \quad (\text{A.22})$$

$$e = 0,5 \cdot (500 - 470 - 20) = 5 \text{ мм}$$

Визначимо коефіцієнт твердості фланцевої сполуки (для сполуки з плоскою кришкою) по формулі

$$\alpha_{kp} = 1 - \frac{Y_n - (Y_{\phi} \cdot e + Y_{kp} \cdot b) \cdot b}{\eta}, \quad (\text{A.23})$$

$$\text{де } \eta = Y_n + Y_{\delta} + (Y_{\phi} + Y_{kp}) \cdot b^2, \quad (\text{A.24})$$

Під прокладку восьмикутного перетину $\alpha_{\phi} = 1$

$$\eta = 0 + 6,162 \cdot 10^{-8} + (3,415 \cdot 10^{-11} + 4,228 \cdot 10^{-11}) \cdot 67,5^2 = 4,099 \cdot 10^{-7}$$

Визначимо коефіцієнт твердості по формулі (A.23)

$$\alpha_{kp} = 1 - \frac{0 - (3,415 \cdot 10^{-11} \cdot 5 + 4,228 \cdot 10^{-11} \cdot 67,5) \cdot 67,5}{4,099 \cdot 10^{-7}} = 1,063$$

Розрахунок навантажень

Рівнодіюча внутрішнього надлишкового тиску, Н

$$Q_{\delta} = 0,785 \cdot D_{cn}^2 \cdot P, \quad (\text{A.25})$$

$$Q_{\delta} = 0,785 \cdot 500^2 \cdot 5,486 = 1076529,375 \text{ Н}$$

Реакція прокладки в робочих умовах, Н

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot m \cdot P, \quad (\text{A.26})$$

де $m = 5,5$ – коефіцієнт питомого тиску на прокладку.

$$R_n = 3,14 \cdot 500 \cdot 3 \cdot 5,5 \cdot 5,486 = 25918,139 \text{ Н}$$

Навантаження, що виникає від температурних деформацій у сполуці з плоскою кришкою, Н

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} \cdot (\alpha_\phi \cdot h \cdot t_\phi + \alpha_{kp} \cdot h_{kp} \cdot t_\phi - \alpha_\delta \cdot l_\delta \cdot t_\delta), \quad (\text{A.27})$$

$$\text{де } \eta_1 = Y_n + Y_\delta \cdot \frac{E_\delta^{20}}{E_\delta} + \left(Y_\phi \cdot \frac{E^{20}}{E} + Y_{kp} \cdot \frac{E_{kp}^{20}}{E_{kp}} \right) \cdot b^2, \quad (\text{A.28})$$

$\alpha_\phi = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/0C}$, $\alpha_\delta = 13 \cdot 10^{-6} \text{ 1/0C}$, $\alpha_{kp} = 13,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/0C}$ – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця, шпильок і кришки відповідно;

t_ϕ, t_δ - розрахункова температура відповідно фланця і шпильок, °C.

Визначимо допоміжний коефіцієнт

$$\eta_1 = 0 + 6,162 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{190000}{200000} + \left(3,415 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{190000}{215000} + 4,228 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{190000}{210000} \right) \cdot 67,5^2 = 3,663 \cdot 10^{-7}$$

З урахуванням допоміжних розрахунків одержимо

$$Q_t = \frac{1}{3,663 \cdot 10^{-7}} \cdot (13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 75 \cdot 320 + 13,3 \cdot 10^{-6} \cdot 48 \cdot 320 - 13 \cdot 10^{-6} \cdot 137 \cdot 310,4) = -80084,362 \text{ Н}$$

Болтове навантаження в умовах монтажу, H , визначається по формулі

$$P_\delta = \max(P_{\delta 1}; P_{\delta 2}; P_{\delta 3}), \quad (\text{A.29})$$

де $P_{\delta 1}$ - болтове навантаження від спільної дії внутрішнього надлишкового тиску середовища, осьової сили і згинаючого моменту, H ;

$P_{\delta 2}$ - болтове навантаження, необхідна для початкового зминання прокладки, H ;

$P_{\delta 3}$ - болтове навантаження з умови забезпечення міцності шпильок, H .

$$P_{\delta 1} = \alpha \cdot (Q_\delta + F) + R_n - Q_t, \quad (\text{A.30})$$

Зовнішнє осьове зусилля, що діє на фланцеву сполуку, H ;

$$F = -m_k \cdot 9,81, \quad (\text{A.31})$$

де: $m_k = 164,1 \text{ кг}$ – маса кришки.

$$F = -164,1 \cdot 9,81 = -1609,821 \text{ Н}$$

Визначимо болтове навантаження від спільної дії внутрішнього надлишкового тиску середовища, осьової сили і згинаючого моменту по формулі (A.32)

$$P_{\delta 1} = 1,062 \cdot (1076529,375 - 1609,821) + 25918,139 + 80084,362 = 1248575,317 \text{ H}$$

$$P_{\delta 2} = 0,5 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_0 \cdot q_{обж}, \quad (\text{A.33})$$

де $q_{обж} = 125 \text{ МПа}$ – питомий тиск обтиснення прокладки.

$$P_{\delta 2} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 500 \cdot 3 \cdot 125 = 294524,311 \text{ H}$$

$$P_{\delta 3} = 0,4 \cdot [\sigma]_{\delta}^{20} \cdot n \cdot f_{\delta}, \quad (\text{A.34})$$

$$P_{\delta 3} = 0,4 \cdot 238 \cdot 24 \cdot 520 = 1188096 \text{ H}$$

Болтові навантаження в умовах монтажу визначимо по формулі (A.35)

$$P_{\delta} = \max(1248575,317; 294524,311; 1188096) = 1387962,157 \text{ H}$$

Розрахунок шпильок

Умова міцності шпильок :

– в умовах монтажу

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta}}{n \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma]_{\delta}^{20}, \quad (\text{A.36})$$

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{1248575,317}{24 \cdot 520} = 100,046 \leq 238$$

Умова міцності в умовах монтажу виконано.

– у робочих умовах

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{P_{\delta 1} + \Delta P_{\delta}}{n \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma]_{\delta}, \quad (\text{A.37})$$

$$\text{де } \Delta P_{\delta} = (1 - \alpha) \cdot (Q_o + F) + Q_t, \quad (\text{A.38})$$

$$\Delta P_{\delta} = (1 - 1,063) \cdot (1076529,375 - 1609,821) - 80084,362 = -147737,623 \text{ H}$$

– у робочих умовах

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{1248575,317 - 147737,623}{24 \cdot 520} = 88,208 \leq 198$$

Умова міцності в робочих умовах виконано.

Розрахунок прокладок

Умова міцності прокладок

$$q = \frac{P_{\delta}}{\pi \cdot D_{cn} \cdot b_n} \leq [q], \quad (\text{A.40})$$

де $[q] = 130 \text{ МПа}$ – припустимий питомий тиск на прокладку.

$$q = \frac{1248575,317}{3,14 \cdot 500 \cdot 12} = 66,239 \leq [130]$$

Умова міцності виконана.

Розрахунок фланця на міцність

Кут повороту фланця при затягуванні сполуки, рад

$$\Theta = M_{01} \cdot \frac{[1 - w \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3}, \quad (\text{A.41})$$

де згинальний момент від болтового навантаження, $\text{Н} \cdot \text{мм}$ $M_{01} = P_\delta \cdot b$, (A.42)

$$M_{01} = 1248575,317 \cdot 67,5 = 84278833,888 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Обчислимо кут повороту

$$\Theta = 84278833,888 \cdot \frac{[1 - 0,261 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,774)] \cdot 5,178}{215000 \cdot 75^3} = 2,678 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$$

Збільшення кута повороту фланця в робочих умовах визначимо по формулі

$$\Delta\Theta = \Delta M_{01} \cdot \frac{[1 - w \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3}, \quad (\text{A.43})$$

де $\Delta M_{01} = \Delta P_\delta \cdot b + (Q_\delta + F) \cdot e$, (A.44)

$$\Delta M_{01} = -147737,623 \cdot 67,5 + (1076529,375 - 1609,821) \cdot 5 = -4597691,814 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Визначимо збільшення кута повороту по формулі (A.43)

$$\Delta\Theta = -4597691,814 \cdot \frac{[1 - 0,261 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,774)] \cdot 5,178}{215000 \cdot 75^3} = -1,461 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$$

Меридіональні напруги в кінчній втулці при затягуванні фланцевої сполуки для фланців приварних встык у перетині товщиною S_1 , МПа :

– на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{11} = \sigma_1$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\sigma_{12} = -\sigma_1$$

Максимальна напруга вигину в перетині S_1 , МПа

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot w \cdot M_{01}}{D^* \cdot (S_1 - c)^2}, \quad (\text{A.46})$$

$$\text{де } T = \frac{\left(\frac{D_n}{D}\right)^2 \cdot \left[1 + 8,55 \lg\left(\frac{D_n}{D}\right)\right] - 1}{\left[1,05 + 1,945 \cdot \left(\frac{D_n}{D}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{D_n}{D}\right) - 1\right]\right]}, \quad (\text{A.47})$$

$$D^* = D + S_1 = 470 + 45 = 515 \text{ мм при } D < 20S_1 \text{ і } f = 1$$

Розрахуємо допоміжний коефіцієнт

$$T = \frac{\left(\frac{695}{470}\right)^2 \cdot \left[1 + 8,55 \lg\left(\frac{695}{470}\right)\right] - 1}{\left[1,05 + 1,945 \cdot \left(\frac{695}{470}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{695}{470}\right) - 1\right]\right]} = 1,719$$

Максимальна напруга вигину в перетині S_1 по формулі (A.46)

$$\sigma_1 = \frac{1,719 \cdot 0,261 \cdot 84278833,888}{515 \cdot (45 - 2)^2} = 39,763 \text{ МПа}$$

Меридіональні напруги в конічній втулці при затягуванні фланцевої сполуки для фланців приварних встик у перетині товщиною S_1 :

- на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{11} = \sigma_1 = 39,763 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні втулки

$$\sigma_{12} = -\sigma_1 = -39,763 \text{ МПа}$$

Меридіональні напруги в конічній втулці при затягуванні фланцевої сполуки для фланців приварних встик у перетині товщиною S_0 :

- на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{21} = f \cdot \sigma_1 = 1 \cdot 39,763 = 39,763 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні втулки

$$\sigma_{22} = -f \cdot \sigma_1 = -1 \cdot 39,763 = -39,763 \text{ МПа}$$

Збільшення меридіональних напруг у робочих умовах у конічній втулці для фланців приварних встик у перетині товщиною S_1 , МПа:

- на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{11} = \Delta\sigma_M + \Delta\sigma_1, \quad (\text{A.49})$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{12} = \Delta\sigma_M - \Delta\sigma_1, \quad (\text{A.50})$$

$$\text{де } \Delta\sigma_M = \frac{Q_d + F}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - c)} - \quad (\text{A.51})$$

Збільшення напруги, що виникає в меридіональній напрузі в робочих умовах у перетині конічної втулки товщиною S_1 від дій зовнішніх навантажень;

$$\Delta\sigma_M = \frac{1076529,375 - 1609,821}{3,14 \cdot 470 \cdot (45 - 2)} = 16,93 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_1 = \frac{T \cdot w \cdot \Delta M_{01}}{D^* \cdot (S_1 - c)^2}, \quad (\text{A.52})$$

Збільшення напруги, що виникає в меридіональному напрямку від зміни згинаючого моменту в робочих умовах.

$$\Delta\sigma_1 = \frac{1,719 \cdot 0,261 \cdot (-4597691,814)}{515 \cdot (45 - 2)^2} = -93,276 \text{ МПа}$$

Тоді:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{11} = 16,93 - 93,276 = -76,345 \text{ МПа}$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{12} = 16,934 + 93,276 = 110,206 \text{ МПа}$$

Збільшення меридіональних напруг у робочих умовах у конічній втулці для фланців приварних встик у перетині товщиною S_0 , МПа:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{21} = \Delta\sigma_M + f \cdot \Delta\sigma_1, \quad (\text{A.53})$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{22} = \Delta\sigma_M - f \cdot \Delta\sigma_1, \quad (\text{A.54})$$

$$\text{де } \Delta\sigma_M = \frac{Q_d + F}{\pi \cdot D \cdot (S_0 - c)} - \quad (\text{A.55})$$

Збільшення напруги, що виникає в меридіональній напрузі в робочих умовах у перетині конічної втулки товщиною S_0 від дій зовнішніх навантажень;

$$\Delta\sigma_M = \frac{1076529,375 - 1609,821}{3,14 \cdot 470 \cdot (20 - 2)} = 40,444 \text{ МПа}$$

Тоді:

- на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{21} = 40,444 - 1 \cdot 93,276 = -52,831 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{22} = 40,444 + 1 \cdot 93,276 = 133,72 \text{ МПа}$$

Окружні напруги в конічній втулці при затягуванні сполуки для фланців приварних встик у перетині товщиною S_1 , МПа

- на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{13} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \Theta}{D} + 0,3 \cdot \sigma_1, \quad (\text{A.56})$$

$$\sigma_{13} = \frac{215000 \cdot 75 \cdot 2,678 \cdot 10^{-3}}{470} + 0,3 \cdot 39,763 = 103,796 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні

$$\sigma_{14} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \Theta}{D} - 0,3 \cdot \sigma_1, \quad (\text{A.57})$$

$$\sigma_{14} = \frac{215000 \cdot 75 \cdot 2,678 \cdot 10^{-3}}{470} - 0,3 \cdot 39,763 = 79,938 \text{ МПа}$$

Окружні напруги в конічній втулці при затягуванні сполуки для фланців приварних встик у перетині товщиною S_0 , МПа

- на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{23} = 0,3f \cdot \sigma_1, \quad (\text{A.58})$$

$$\sigma_{13} = 0,3 \cdot 1 \cdot 39,763 = 11,929 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні

$$\sigma_{24} = -f \cdot 0,3 \cdot \sigma_1, \quad (\text{A.59})$$

$$\sigma_{24} = -0,3 \cdot 1 \cdot 39,763 = -11,929 \text{ МПа}$$

Збільшення окружних напруг у конічній втулці в робочих умовах у перетині товщиною S_1 , МПа:

- на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{13} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \Delta\Theta}{D} + \frac{P \cdot D}{D_n - D} + 0,3 \cdot \Delta\sigma_1, \quad (\text{A.60})$$

$$\Delta\sigma_{13} = \frac{215000 \cdot 75 \cdot (-1,461 \cdot 10^{-4})}{470} + \frac{5,486 \cdot 470}{695 - 470} + 0,3 \cdot (-93,276) = -20,953 \text{ МПа}$$

– на внутрішній поверхні

$$\Delta\sigma_{14} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \Delta\Theta}{D} + \frac{P \cdot D}{D_n - D} - 0,3 \cdot \Delta\sigma_1, \quad (\text{A.61})$$

$$\Delta\sigma_{14} = \frac{215000 \cdot 75 \cdot (-1,461 \cdot 10^{-4})}{470} + \frac{5,486 \cdot 470}{695 - 470} - 0,3 \cdot (-93,276) = 35,012 \text{ МПа}$$

Збільшення окружних напруг у конічній втулці в робочих умовах у перетині товщиною S_0 , МПа:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\Delta\sigma_{23} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} + 0,3f \cdot \Delta\sigma_1, \quad (\text{A.62})$$

$$\Delta\sigma_{23} = \frac{5,486 \cdot 470}{2 \cdot (20 - 2)} + 0,3 \cdot 1 \cdot (-93,276) = 43,634 \text{ МПа}$$

– на внутрішній поверхні

$$\Delta\sigma_{24} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} - 0,3f \cdot \Delta\sigma_1, \quad (\text{A.63})$$

$$\Delta\sigma_{24} = \frac{5,486 \cdot 470}{2 \cdot (20 - 2)} - 0,3 \cdot 1 \cdot (-93,276) = 99,599 \text{ МПа}$$

Умова статичної міцності фланців приварних встик у перетині товщиною S_I :

– при затягуванні сполуки

$$\sigma_{S_I} = \max \left\{ \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{13}^2 - \sigma_{11} \cdot \sigma_{13}}; \sqrt{\sigma_{12}^2 + \sigma_{14}^2 - \sigma_{12} \cdot \sigma_{14}} \right\} \leq [\sigma]_{S_I}^{20}, \quad (\text{A.64})$$

$$\sigma_{S_I} = \max \left\{ \sqrt{39,763^2 + 103,796^2 - 39,763 \cdot 103,796}; \sqrt{(-39,763)^2 + 79,938^2 - (-39,763) \cdot 79,938} \right\} = \max\{90,705; 105,593\} = 105,593 \text{ МПа}$$

$$105,593 < 220,5$$

Умова міцності виконана.

– у робочих умовах

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{11} + \Delta\sigma_{11})^2 + (\sigma_{13} + \Delta\sigma_{13})^2} - (\sigma_{11} + \Delta\sigma_{11}) \cdot (\sigma_{13} + \Delta\sigma_{13})}{\sqrt{(\sigma_{12} + \Delta\sigma_{12})^2 + (\sigma_{14} + \Delta\sigma_{14})^2} - (\sigma_{12} + \Delta\sigma_{12}) \cdot (\sigma_{14} + \Delta\sigma_{14})} \right\} \leq [\sigma]_{S1} \quad (\text{A.65})$$

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(39,763 + (-76,345))^2 + (103,796 + (-20,935))^2}}{\sqrt{((-39,763) + 110,206)^2 + (79,938 + 35,012)^2}}; \frac{\sqrt{(39,763 + (-76,345)) \cdot (103,796 + (-20,935))}}{\sqrt{((-39,763) + 110,206) \cdot (79,938 + 35,012)}} \right\} = \max\{105,981; 100,391\} = 105,981 \text{ МПа}$$

$$105,981 < 208,5$$

Умова міцності виконана.

Умова статичної міцності фланців приварних встик у перетині товщиною

S_0 :

– при затягуванні з'єднання

$$\sigma_{S0} = \max \left\{ \sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_{23}^2} - \sigma_{21} \cdot \sigma_{23}; \sqrt{\sigma_{22}^2 + \sigma_{24}^2} - \sigma_{22} \cdot \sigma_{24} \right\} \leq [\sigma]_{S0}^{20}, \quad (\text{A.66})$$

$$\sigma_{S0} = \max \left\{ \frac{\sqrt{39,763^2 + 11,929^2} - 39,763 \cdot 11,929}{\sqrt{(-39,763)^2 + (-11,929)^2} - (-39,763) \cdot (-11,929)} \right\} = \max\{35,342; 35,342\} = 35,342 \text{ МПа}$$

$$35,342 < 776,65$$

Умова міцності виконана.

– у робочих умовах

$$\sigma_{S0} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 + (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2} - (\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21}) \cdot (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})}{\sqrt{(\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 + (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2} - (\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22}) \cdot (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})} \right\} \leq [\sigma]_{S0}, \quad (\text{A.67})$$

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(39,763 + (-52,831))^2 + (11,929 + 43,634)^2}}{\sqrt{((-39,763) + 133,72)^2 + ((-11,929) + 99,599)^2}}; \frac{\sqrt{(39,763 + (-52,831)) \cdot (11,929 + 43,634)}}{\sqrt{((-39,763) + 133,72) \cdot ((-11,929) + 99,599)}} \right\} = \max\{63,12; 90,976\} = 90,976 \text{ МПа}$$

$$90,976 < 742,781$$

Умова міцності виконана