

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра машинознавства та обладнання промислових підприємств
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної випускної роботи

освітній ступінь магістр
(бакалавр, магістр)

спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація Обладнання хімічних виробництв та підприємств будівельних матеріалів
(назва спеціалізації)

на тему: «Реактор синтезу в виробництві оцтової кислоти потужністю 157 тис.
т/рік»

Виконала: студентка групи ОХП-18дм _____
(підпис) А.П.Сергієнко
(ініціали і прізвище)

Керівник _____
(підпис) В.Г. Созонтов
(ініціали і прізвище)

Завідувач кафедри _____
(підпис) В.Г. Созонтов
(ініціали і прізвище)

Рецензент _____

РЕФЕРАТ

Магістерська робота за темою «Реактор синтезу в виробництві оцтової кислоти потужністю 157 тис. т/рік»: 80 с., 16 табл., 2 рис., 45 джерел.

РЕАКТОР СИНТЕЗУ, ОЦТОВА КИСЛОТА, ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА, ОКИСЛЕННЯ, КАРБОНУВАННЯ МЕТАНОЛУ, ХАСТЕЛОЙ.

Об'єкт дослідження – реактор синтезу в виробництві оцтової кислоти.

Мета магістерської роботи – удосконалення конструкції ректора синтезу у виробництві оцтової кислоти з метою підвищення його довговічності та зниження собівартості.

Методи дослідження – аналітично-чисельний метод, методи розрахунку на міцність, жорсткість і стійкість конструкцій, методи математичної статистики.

У першому розділі виконано аналіз методів отримання оцтової кислоти при окисленні пропану, бутану і гомологів C_5-C_7 , синтезу з ацетилену та карбонуванням метанолу, а також розглянуто апаратурне оформлення реакційних процесів в системі газ-рідина.

У другому розділі виконано обґрунтування обраного методу здобуття оцтової кислоти й устаткування, описано технологічну схему синтезу, характеристики сировини і готового продукту, а також проведено тепловий розрахунок реактора синтезу та складено матеріальний баланс виробництва.

У третьому, четвертому, п'ятому і шостому розділах описано конструкцію, принцип роботи та технологія виготовлення реактора синтезу оцтової кислоти, обрано основні конструкційні матеріалів для його виготовлення та проведено розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість апарату.

У сьомому розділі розглянуто основні заходи при ремонті і монтажі запропонованого в роботі устаткування.

В останніх розділах розглянуто вимоги охорони праці й техніки безпеки при виробництві оцтової кислоти та питання промислової екології.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	5
Вступ.....	6
1 Аналітичний огляд.....	9
1.1 Отримання оцтової кислоти при окисленні пропану, бутану і гомологів C_5-C_7	9
1.2 Синтез оцтової кислоти з ацетилену.....	11
1.3 Отримання оцтової кислоти карбонуванням метанолу.....	12
1.4 Апаратурне оформлення реакційних процесів в системі газ-рідина.....	13
2 Технологічна частина.....	16
2.1 Обґрунтування обраного методу виробництва й устаткування.....	16
2.2 Опис технологічної схеми синтезу оцтової кислоти.....	17
2.3 Характеристика сировини і готового продукту.....	21
2.4 Матеріальний баланс.....	21
2.5 Технологічний розрахунок реактора синтезу.....	29
2.6 Тепловий розрахунок.....	30
3 Опис конструкції і принцип роботи реактора синтезу.....	32
4 Вибір основних конструкційних матеріалів.....	33
5 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість.....	34
5.1 Визначення розрахункових параметрів.....	34
5.2 Розрахунок циліндрової обичайки.....	36
5.3 Розрахунок днища (кришки).....	37
6 Технологія виготовлення апарату.....	39
7 Ремонт і монтаж устаткування.....	43
7.1 Підготовка устаткування до ремонту.....	43
7.2 Характерні пошкодження і контроль зносу апарату.....	45
7.3 Приймання устаткування в експлуатацію після ремонту.....	46
7.4 Монтаж устаткування.....	47
8 Охорона праці й техніка безпеки.....	49
8.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- і	

вибухонебезпечність речовин, які застосовують і одержують у виробництві оцтової кислоти.....	49
8.2 Небезпечні й шкідливі виробничі чинники у виробництві оцтової кислоти.....	52
8.3 Класифікація і категорійність виробництва оцтової кислоти і його приміщень.....	52
8.4 Заходи, що запобігають шкідливим і небезпечним виробничим чинникам.....	54
9 Промислова екологія.....	70
9.1 Характеристика газоподібних забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу від базового об'єкта.....	72
9.2 Шкідливий вплив промислових викидів на здоров'я людини.....	73
9.3 Вплив на тваринний світ.....	74
9.4 Вплив промислових викидів на ґрунт і рослинний світ.....	74
Висновки.....	75
Перелік джерел посилання.....	77
Додатки.....	81
Додаток А Технічні вимоги до отримуваних продуктів.....	82
Додаток Б Розрахунок параметрів устаткування.....	88

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

НВ – твердість за Бринелем

НРС – твердість за Роквелом

σ_T - межа плинності інструментального матеріалу, МПа

T – температура, К

σ_s - напруга 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, %

m_τ – масова витрата реакційної маси, кг/с

τ – максимальний час її перебування в реакційній зоні, с

ρ – густина матеріалу, кг/м³

q_p – теплота реакції, ккал/г*моль

W_m – витрата метанолу, $\frac{\text{кмоль}}{\text{с}}$

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_{II} - умовний модуль стискування прокладки, МПа

E - модуль поздовжньої пружності, Па

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

$m_{ап}$ - маса апарату, кг

$m_{мр}$ - маса мотор-редуктора, кг

$m_{ст}$ - маса стійки, кг

$m_{дв}$ - маса двигуна, кг

$m_{вал}$ - маса вала, кг

$m_{упл}$ - маса торцевого ущільнення, кг

ВСТУП

Виробництво органічних речовин зародилося дуже давно, але спочатку воно базувалося на переробці рослинної або тваринної сировини — виділення цінних речовин (цукор, мастила) або їх розщеплювання (мило, спирт тощо). На основних трьох видах викопної сировини (нафта, природний газ і кам'яне вугілля) головним чином і базується промисловість органічного синтезу. У процесах їх фізичного поділу, термічне або каталітичне розщеплювання (коксування, крекінг, піроліз, риформінг, конверсія) отримують п'ять головних груп вихідних речовин для синтезу багатьох тисяч інших сполучень: 1) парафін (від метану CH_4 до вуглеводнів C_{15} — C_{40}); 2) олефіни (C_2H_4 , C_3H_6 , C_4H_8 , C_5H_{10}); 3) ароматичні вуглеводні (бензол, толуол, кислоти, нафталін); 4) ацетилен; 5) оксид вуглецю і синтез-газ. У своєму розвитку промисловість органічного синтезу розділилася на ряд галузей (технологія барвників, лікарських речовин, пластичних мас, хімічних волокон тощо), серед яких важливе місце займає промисловість основного органічного і нафтохімічного синтезу. Термін «основний» (або «важкий») органічний синтез охоплює виробництво багатотонажних продуктів, які є основою для решти всієї органічної технології.

Одним із хімічних продуктів органічного синтезу є оцтова кислота. Оцтова кислота CH_3COOH належить до гомологічного ряду жирних кислот, будучи одним із простих членів і найважливішим представником цього ряду.

У природі оцтова кислота перебуває у вільному стані в організмах тварин (піт, сеча, жовч), у рослинах і в деяких мінеральних водах. Її можна знайти також у середовищі, сприятливому для гниття і бродіння (у гуано, торф'яній воді тощо), де вона з'являється унаслідок окислення повітрям етилового спирту, що утворюється при бродінні.

Оцтова кислота перебуває також у водах, що відходять, при промиванні шерсті, а також у водній частині дистиляту, що утворюється при розгоні із водяною парою багатьох рослинних ефірних масил.

У чистому вигляді оцтова кислота є безбарвною рідиною з густиною $1,04923 \text{ грама/см}^3$ (при 20°C), здатною поглинати вологу з повітря. При $16,63^\circ\text{C}$ вона застигає в безбарвні кристали щільністю $1,195 \text{ грама/см}^3$. При застиганні

відбувається зменшення об'єму на 4,7 % (відповідно при плавленні об'єм збільшується на 5,0 %).

Переохолоджена оцтова кислота при збовтуванні або при внесенні затравки вміть застигає. При температурі близько 40°C вона легко запалюється.

Оцтовій кислоті притаманний різкий запах, приємний кислий смак, але вона руйнівню діє на шкіру, викликаючи опіки. З водою, ефіром, ацетоном, хлороформом, діхлоретаном і з багатьма іншими розчинниками оцтова кислота змішується в усіх відношеннях і сама є добрим розчинником для великої кількості органічних сполук. Зокрема, льодяна оцтова кислота добре розчиняє целулоїд і нітрати целюлози (інші кислоти жирного ряду не мають цієї здатності).

При нагріванні оцтова кислота розчиняє невелику кількість фосфору і значну кількість сірки. У ній розчиняються також газоподібні галогеноводні, а також SO_2 й інші неорганічні речовини.

Із кислот жирного ряду оцтова кислота має величезне технічне значення, широко використовується в різних галузях промисловості, її виробництво збільшується у всіх країнах.

Розвиток цього виробництва невід'ємний від технічного процесу. Постійно зростаюча потреба в оцтовій кислоті спричиняє вдосконалення технології існуючих методів і виникнення нових, таких, що мають вищі економічні показники. Методи отримання оцтової кислоти багаточисельні й різноманітні.

Проектоване виробництво оцтової кислоти є безперервним великотоннажним виробництвом. Виробництво оцтової кислоти з метанолу й оксиду вуглецю введено в експлуатацію в 1980 році. Проектна потужність виробництва 150 тис. тонн на рік.

Виробництво оцтової кислоти здійснене в одну технологічну лінію і складається з двох відділів:

- відділ отримання оксиду вуглецю;
- відділ отримання оцтової кислоти.

За технічно – економічним рівнем виробництво оцтової кислоти належить до вищої категорії. Безводна (льодяна) оцтова кислота є найважливішою із

аліфатичних кислот і широко застосовується в харчових цілях як розчинник, проміжний продукт для синтезу монохлороцтової кислоти, розчинників — складних ефірів оцтової кислоти (етилацетат, бутилацетат), мономерів (вінілацетат) і інших цінних речовин. Власне синтез оцтової кислоти з інгредієнтів відбувається в спеціальному реакторі з перемішуючим пристроєм. Дипломна робота присвячена проектуванню реактора синтезу оцтової кислоти, виробництва оцтової кислоти, що працює у складі установки.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Отримання оцтової кислоти при окисленні пропану, бутану і гомологів C₅-C₇

Отримання оцтової кислоти здійснюється різними способами, деякі з них наведені нижче.

При окисленні пропану C₃H₆, бутану C₄H₁₀ і їх сумішей, яке здійснюється в промисловому масштабі, отримують суміш кисневмісних сполук, що складається з ацетальдегіду, метилового спирту, формальдегіду, ацетону, бутилового спирту і органічних кислот. Цю суміш розділяють з ацетальдегіду або окисляють в оцтову кислоту, або використовують для отримання інших продуктів.

Залежно від умов проведення процесу співвідношення продуктів буває різним.

На одному із заводів США при окисненні пропану в умовах температури 200 – 250 градусів і тиску до 6,088 МПа при деякому певному співвідношенні пропану і кисню отримують головним чином ацетальдегід, формальдегід і метанол.

На іншому заводі США як початковий продукт використовують пропано-бутанову суміш. Окиснення суміші виконується повітрям під тиском 2,063 – 3,044 МПа, при температурі 300 – 350 °С, зазвичай без застосування каталізатора. Отримані кисневмісні сполуки поглинаються водою, а залишкові пропан і бутан, звільнені в особливій установці від інертних газів, повертаються в процес. Водний конденсат піддають відгону. Унаслідок чого отримують ацетальдегід, ацетон, формальдегід, метанол і інші спирти. Вихід окремих продуктів залежить від вмісту того або іншого вуглеводня в початковій суміші, режиму температури і тиску, а також тривалості окиснення. При підвищеній температурі збільшується вихід метанолу і формальдегіду, Підвищення тиску і зменшення часу дії кисню на вуглеводень сприяє направленню течії реакції в інший бік. Це використовують для підвищення виходів ацетальдегіду або інших продуктів.

На новому заводі в Палєпа (США) оцтову кислоту отримують каталітичним окисленням бутану, що міститься в природних нафтових газах (95% - C_4H_{10} , 2,5% - ізо- C_4H_{10} , 2,5% вуглеводнів, що містять більше 4 атомів С). Окислення проводиться повітрям при відносно низькій температурі і високому тиску(по рідкій фазі) і часі контакту більше, ніж в звичайних процесах безпосереднього окислення вуглеводнів нижчої молекулярної маси. У продуктах окислення немає формальдегідів, але є вищі альдегіди, переважно ацетальдегід, який повертається в цикл для окислення до відповідних кислот/ Суміш продуктів окислення після конденсації й охолодження розділяють із застосуванням методів дистиляції, екстрагування і абсорбції.

Згаданий завод в Палєпе виконує також окиснення пропан – бутанової суміші і виробляє близько 800 т оцтової кислоти на тиждень. Отриману оцтову кислоту випускають як готовий продукт або переробляють в оцтовий альдегід і вінілацетат. Оцтовий альдегід отримують гідратацією оцтової кислоти із застосуванням мідного каталізатора (CuO). На 1 т альдегіду витрачають 1,25 т оцтової кислоти.

Окиснення пропану і бутану з метою отримання оцтової кислоти або оцтової кислоти поряд з іншими продуктами вивчається давно, тому великі відмінності існують у розробці цих вуглеводнів і в розділенні продуктів окиснення.

Рідкофазне окиснення пропан-бутану виявилось одним з найцікавіших і перспективних процесів в області окиснення вуглеводнів, оскільки продукти, що утворюються при цьому, є найбільш цінними. Серед них оцтова кислота є основним продуктом, що значно спрощує її виділення.

При застосуванні в якості розчинника оцтової кислоти з бутаном при температурі вище критичної вона взаєморозчинна в будь-яких співвідношеннях. У ході процесу поряд з іншими продуктами утворюється деяка кількість води, яка обмежено змішується з бутаном, а це спричиняє зміну фазової рівноваги і забезпечує розшарування системи і поділ продуктів реакції. Розчинник відіграє й іншу позитивну роль у процесі окиснення – він спричиняє руйнування перекисів, що утворюються в ході процесу.

Дослідні дані показали, що при температурах близько 135 – 180 °С і при тиску 5,006 – 7,949 МПа високе перетворення бутану (30 – 39%) сполучається з гарним виходом оцтової кислоти (біля 100г бутану, що прореагував). У цих дослідах як каталізатор використовувався кобальт, що вводився у кількості 0,03г на 100г бутану.

Марганцевий каталізатор у порівнянні з кобальтовим дає вищий вихід мурашиної кислоти. Наприклад, при використанні кобальтового каталізатора вміст оцтової і мурашиної кислот у конденсаті складає відповідно 76 і 6%, а при використанні іншого каталізатора – 62 і 23%.

Процес отримання оцтової кислоти окисненням *n* – бутану вивчався і був розроблений в інституті хімічної фізики СРСР Н.М.Емануелем. Запропоновані оптимальні умови для проведення реакції окиснення в рідкій фазі для цього вуглеводня. Так, при 145 °С і 5,006 МПа (критична температура *n* – бутану 152 °С, критичний тиск 3,633 МПа), продуктами окиснення є оцтова кислота і метилетилкетон, причому вихід оцтової кислоти досягається 80%.

Вуглеводні з вищим вмістом вуглецю при окисленні дають більшу кількість кислот. Загальний вихід оцтової і мурашиної кислот підвищується із збільшенням парціального тиску кисню. Під час окислення мають місце різні конкуруючі реакції. При окисленні *n* – гептану (*n* – C₇H₁₆) вихід оцтової кислоти без каталізатора досягається 50%, а з каталізатором – 70%. У той же час вихід мурашиної кислоти складає відповідно 15 і 20%.

При використанні фракції (легкого бензину) газоліну, що містить головним чином пентан C₅H₁₂, гексан C₆H₁₄, гептан C₇H₁₆ з температурою кипіння 20 – 95 °С, оптимальний режим роботи реактора (для умов проведення реакції в рідкій фазі) має бути таким: температура до 175 градусів, тиск 4,222 МПа. У цьому випадку продукти реакції кислоти C₇, що містять, – C₄, серед яких 74,3% припадає на частку оцтової кислоти. Кислоти ці розділяють шляхом ректифікації. Вуглеводні, що не прореагували, повертаються на окислення.

1.2 Синтез оцтової кислоти з ацетилену

З причини високої реакційної здатності ацетилен є дуже важливим

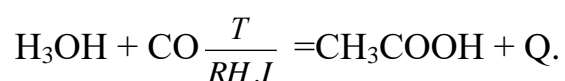
початковим матеріалом для синтезу цілого ряду органічних сполук, зокрема для синтезу оцтової кислоти.

Виробництво синтетичної оцтової кислоти з ацетилену отримало широкий розвиток і міцно увійшло до промисловості важкого органічного синтезу. У деяких країнах головним споживачем ацетилену є виробництво оцтової кислоти.

В основі цього процесу лежить реакція гідратації ацетилену в ацетальдегід, який потім окиснюють в оцтову кислоту.

1.3 Отримання оцтової кислоти карбонуванням метанолу

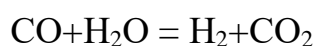
Оцтову кислоту в даному методі отримують карбонуванням метанолу при температурі від 175 до 189 °С, тиском від 2,7 до 2,9 МПа у присутності каталізатора процесу – комплексних сполук родію. Промотором каталізаторної системи є сполуки йоду – йодистий метил і йодистий водень. Сумарне рівняння реакції карбонілювання метанолу може бути представлене в наступному вигляді:



Процес карбонілювання метанолу описується наступними рівняннями реакцій:

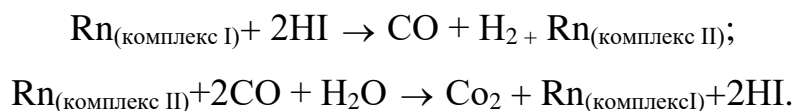
1. $\text{CH}_3\text{OH} + \text{CH}_3\text{OOH} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O};$
2. $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{HI} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{I};$
3. $\text{CH}_3\text{I} + \text{R}_n \text{ комплекс (I)} = \text{R}_n \text{ комплекс (II)};$
4. $\text{R}_n \text{ комплекс (II)} + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{HI} + \text{R}_n \text{ комплекс (I)}.$

Поряд з основною реакцією утворення оцтової кислоти (реакцією карбонілювання) протікає реакція конверсії оксиду вуглецю:



Ця реакція є рівнянням двох реакцій, які схематично можуть бути

представлені в наступному вигляді:



У наведених реакціях, подібно до реакцій карбонілювання, наявний окислювально – відновний цикл. Протіканню реакції конверсії сприяє наявність надлишку йодистого водню в системі.

Важливою стороною цього процесу є збільшення вмісту інертів у системі синтезу, що призводить до зниження парціального тиску в системі, а це, врешті решт, може порушити стабільність каталітичної системи процесу синтезу.

Процес отримання оцтової кислоти методом карбонілювання метанолу характеризується високою селективністю. Основним побічним продуктом є пропіонова кислота, яка утворюється внаслідок карбонілювання етанолу. Крім пропіонової кислоти в процесі синтезу утворюються інші легкокиплячі домішки, такі, як мурашина кислота, ацетальдегід, диметиловий ефір тощо. Оксид вуглецю одержують методом конверсії природного газу з попереднім очищенням останнього від сірчистих сполук.

1.4 Апаратурне оформлення реакційних процесів в системі газ-рідина

Для реалізації методу карбонілювання метанолу необхідні такі види технологічного устаткування:

1. Теплообмінне устаткування.
2. Насоси і компресори.
3. Ресивери.
4. Сепаратори.

Власне процес синтезу протікає в реакторі синтезу. Як правило, реактор для системи газ – рідина являє собою ємнісний апарат з мішалкою у вільному об'ємі.

Існують варіанти застосування видів мішалок [23]:

1. Рамні;
2. Якірні;

3. Турбінні відкриті;
4. Турбінні закриті;
5. Лопастеві.

Апарати з механічними пристроями, що перемішують, є основними типами апаратів, які використовуються в хімічній промисловості.

Основними елементами апарату є пристрій, що перемішує, і його корпус. Під пристроєм, розуміється конструкція, що складається з приводу, вала і мішалки, з'єднаних між собою в єдиний вузол.

Привід пристроями, в загальному випадку складається з електродвигуна, редуктора (або мотор-редуктора) і стійки приводу. Вихідний вал мотор-редуктора через муфту з'єднується із суцільним або розрізним валом апарату, на кінці якого закріплена мішалка. Вал встановлюється в опорах кочення, які монтуються в стійці приводу. Пристрій, що перемішує, встановлюється, як правило, на кришці корпусу.

Під корпусом апарату розуміється посудина будь-якої, в основному циліндричної форми, в якому здійснюється перемішування. Корпус апарату, використовуваного для здійснення теплообмінних процесів, зазвичай має теплообмінні пристрої - зовнішні у вигляді сорочки або вбудовані в корпус у вигляді змієвиків. У корпусі апарату можуть встановлюватися внутрішні пристрої, відбивні перегородки, труби передавлювання, барбатера та ін. В зоні входу вала пристрою, що перемішує, в корпус апарату встановлюються ущільнення. Перелічені тут елементи конструкцій апаратів є основними. Вони можуть бути використані в різних комбінаціях при конструюванні стандартних і нестандартних апаратів.

При виготовленні апаратів хімічного виробництва використовується широкий спектр матеріалів. Це пояснюється різноманіттям реалізованих у виробі галузі фізико-хімічних процесів і способів виготовлення апаратів, що охоплюють майже всі види обробки: лиття, кування, штампування, обробку тиском, різання, зварювання, хімічну і термічну обробку.

Тому при виборі матеріалу необхідно враховувати цілий комплекс показників, в тому числі міцність, теплопровідність, стійкість до різних видів

корозії, вплив матеріалу на робоче середовище, ливарні властивості, зварюваність тощо. Важливим фактором, що визначає конкурентоспроможність обладнання, є також вартість вихідного матеріалу і його дефіцитність на ринку металів.

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

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

В останні роки в апаратобудуванні стали застосовувати низьковуглецеві аустенітні сталі 03X18H14 і 03X17H14M3, які мають більш високу корозійну стійкість, ніж їх аналоги з нормальним вмістом вуглецю, наприклад, 08X18H10T і 10X17H13M3T. Устаткування з цих матеріалів в 3,5 рази довговічніше. Недолік таких сталей - знижена міцність - може бути усунутий за рахунок введення азоту в кількості до 3%.

У зв'язку з існуючими недоліками використовуваних матеріалів, а також їх високої вартості питання пошуку оптимального поєднання розроблених марок сталей для виробництва апаратів синтезу оцтової кислоти є актуальним.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування обраного методу виробництва й устаткування

З аналітичного огляду випливає, що при розробці з використанням наведених вище методів з урахуванням досвіду діючого виробництва, оптимальним є метод карбонілізації метанолу.

З метою забезпечення активного гідродинамічного стану має сенс застосувати в даному конкретному випадку турбінну мішалку відкритого типу.

Принципова схема розроблюваного апарату наведена на рис. 2.1.

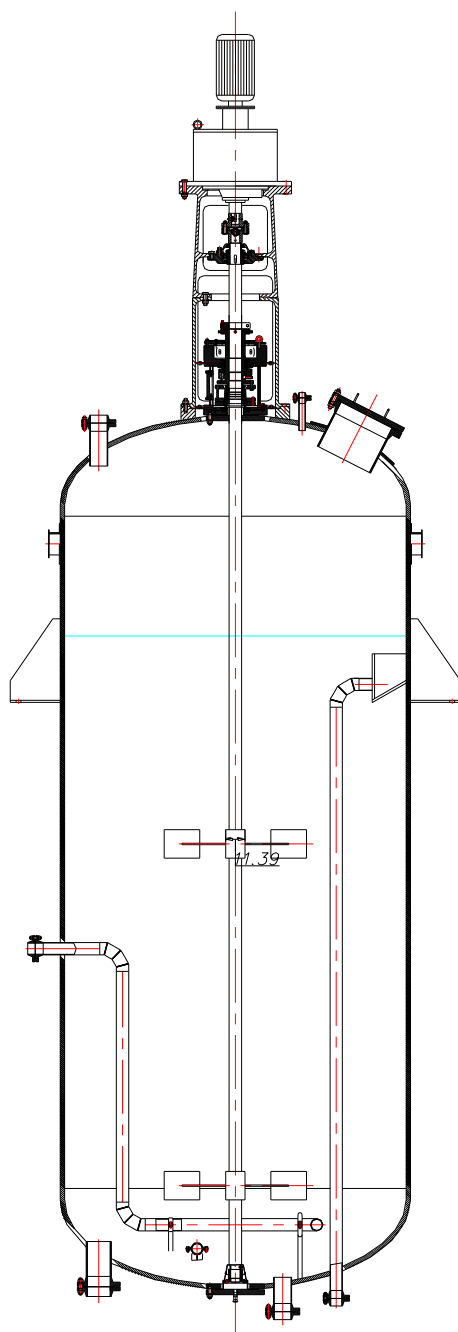


Рисунок 2.1 - Принципова схема реактору синтезу

2.2 Опис технологічної схеми синтезу оцтової кислоти

Метанол і оксид вуглецю подаються в реактор синтезу DC-1101, де при температурі 175-189 °С і тиску (2,7-2,9) МПа проводиться синтез оцтової кислоти.

Метанол до реактора подається насосом GA-1101 зі збірника метанолу FB-1501. Заданий рівень метанолу в збірнику підтримується регулювальником LIC-116 подачею метанолу з мережі об'єднання. При підвищенні або пониженні рівня, включається сигналізація.

Продуктивність насосу GA-1101 підтримується в заданих межах поверненням метанолу з нагнітання в збірнику FB-1501 регулювальником FIC-115.

Перед надходженням у реактор синтезу метанол нагрівається у паровому підігрівачі EA-1101. Регулювання температури підігрівання здійснюється перепусканням частини метанолу через підігрівач регулювальником TIC-112. Тиск пари в підігрівачі підтримується постійним від 0,4 до 0,7 МПа регулювальником PIC-184.

Оксид вуглецю подається а реактор із стадії газорозділу компресором GB-2203 без підігрівання через барботаже кільце. У результаті утворюється дисперсна фаза, що забезпечує швидке розчинення реакційної рідини. Подача здійснюється регулювальником тиску PIC-129.

Реакційна суміш містить у своєму складі оцтову кислоту не менше 65% ваги, воду від 14 до 20% ваги, метилацетату до 1,5% ваги, родій- 250-450 ppm, йодистий метил 13% ваги, йодистий водень 2,3% ваги. Каталізатором процесу є карбоніл родію у вигляді розчиненої комплексної сполуки, $Rh(Co)_{212}$. Активатором каталізатора служать йодистий метил і йодистий водень. Каталізатор і промотор отримують і зберігають на стадії приготування каталізатора.

Карбонільний комплекс родію є нестійкою сполукою. Однією з головних умов зберігання комплексу є парціальний тиск оксиду вуглецю в розчині, величина якого має бути 0,85-1,3 МПа, ця величина визначає загальний тиск газів у реакторі в межах 2,7-2,9 МПа.

Процес синтезу проводиться в реакторі ємністю 50 м³ з мішалкою і барботером. Оптимальний режим роботи реактора:

- Температура робоча - 185°C.
- Тиск робочий – 2,8 МПа.
- Концентрація родію – 300 ppm.
- Вміст води – 16% ваги.
- Конверсія CO – 86% ваги.
- Конверсія CH₃OH – близько 100%.
- % теоретичної швидкості – 65,5.

Основним параметром, за яким ведеться управління процесом синтезу, є підтримка в заданих межах % теоретичної швидкості, температури, тиску, концентрації рідини.

При зміні навантаження по метанолу регулювальником PIS-129 змінюється подача CO для забезпечення необхідного режиму процесу синтезу. Витрата CO, синтезу, що надходить на стадію, контролюється приладом FR-106, FQ-106 тиск по приладу PI-122. Передбачена сигналізація зниження тиску і витрати CO на вході у відділ.

Усі потоки газу й рідини подаються в реактор знизу. Готовий продукт відводиться через переливну кишеню, розташовану в середній частині реактора, гарантуючи за необхідності роботу не менше 55% рівня реактора.

У процесі роботи рівень рідини в реакторі підтримують у межах (70-85)%, чим забезпечується заданий час перебування початкової суміші в реакторі до повного перетворення метанолу на оцтову кислоту. Повнота процесу забезпечується ретельним перемішуванням мішалкою GD-1104 всіх потоків, що надходять у реактор.

У процесі синтезу оцтової кислоти виділяється велика кількість тепла (541,2 ккал на 1 кг оцтової кислоти). Для відведення тепла реакції використовується метод дроселювання реакційної рідини (адіабатичне розширення потоку) через дифузор FR-1101 з реактора DC-1101 в сепаратор потоку FA-1101 з 2,8 МПа до 0,06 МПа. За рахунок дросельного ефекту в сепараторі відбувається випаровування продуктів синтезу і зниження

температури до 125⁰ С.

У сепараторі FA-1101 відбувається відокремлення пари від рідини. Рідина, що містить каталізатор, збирається в нижній частині сепаратора FA-1101 і повертається в реактор насосом GA-1101, де відбувається її підігрівання за рахунок знімання тепла реакції синтезу.

Пари відходять з верхньої частини сепаратора FA-1101, що містять оцтову кислоту, воду, метилйодид і йодистий водень, надходять у колону легких фракцій DA-1201.

Процес регулювання температури керується ЕОМ.

З верхньої частини реактора відбирається віддувний газ з парами йодистого метилу, води і оцтової кислоти. Цей потік надходить у конденсатор EA-1103. Рідина, що сконденсувалася, відокремлюється від газового потоку в сепараторі FA-1102 і самостійно повертається в реактор, а газ прямує на очищення в абсорбер високого тиску DA-1301, стадії «300».

Для розігрівання рідини в реакторі в період пуску передбачений пусковий контур, що складається з парового підігрівача EA-1102, циркуляційного насосу GA-1104, сепаратора парового конденсатора FA-1106.

Теплоносієм використовується перегріта пара 2,75 МПа, що потрапляє з відділу отримання окислу вуглецю. Перед використанням пара 2,75 МПа зволожується живлячою водою, що надходить із стадії оксиду вуглецю.

Насос GA-1104 має індивідуальну систему ущільнення. Як ущільнююча рідина застосовується машинне мастило.

Для збирання і зберігання розчину каталізатора у разі зупинки реактора для оглядів і ремонтів передбачена ємність розчину каталізатора FA-1103. Розчин каталізатора зберігається в ємності під тиском оксиду вуглецю 0,05-0,17 МПа.

Оксид вуглецю зберігається під тиском не більше 14,0 МПа в двох ресиверах FA-1104 місткістю по 6 м³ кожен. Заповнення ресиверів і компримірування оксиду вуглецю проводиться поршневим компресором GB-1101. Стислий газ охолоджується оборотною водою в кінцевому холодильнику EA-1104. Після досягнення необхідного тиску в ресиверах компресор автоматично зупиняється. Ущільнення мішалки GD-1101 реактора синтезу

виконується ущільнюючою рідиною, паровим конденсатом або живлячою водою від насосу GA-2301. Ущільнююча рідина на ущільнення подається від одного з двох збірників FA-1105A або FA-1105B. Необхідний тиск ущільнюючої рідини в збірниках створюється газоподібним азотом, який надходить з балонів, при зниженні тиску вмикається сигналізація. Передбачена сигналізація низького рівня рідини в збірнику FA-1105B.

Стадія синтезу автоматично зупиняється і переводиться в безпечний стан системою блокувань при:

- Підвищенні температури в реакторі до 195°C .
- Підвищенні тиску в колоні легких фракцій до 0,3 МПа.
- Підвищенні тиску метанолу перед підігрівачем EA-1101 до 3,9 МПа.
- Зупинці метанольних насосів GA-1101.
- Зниженні витрати циркулюючої рідини від насосу GA-1102 до 3,6 м³/час.
- Зниженні подачі CO в реактор до 1200 м³/рік.
- Підвищенні тиску в реакторі до 3 МПа.

Частина реакційної рідини, що випарувалася, з верхньої частини сепаратора FA-1101 надходить в колону відгону легких фракцій DA-1201 стадії очищення оцтової кислоти.

Пари з колони DA-1201, що складаються з йодистого метилу, води й оцтової кислоти, надходять у дефлегматор EA-1201, який охолоджується оборотною водою. Конденсат з дефлегматора надходить в декантатор FA-1201, де розділяється на дві фази: важку і легку. Важка фаза складається з йодистого метилу (75% ваги), збирається в зливній кишени нижньої частини декантатора і повертається в реактор DC-1101 насосом GA-1101. Легка фаза збирається у верхній частині декантатора FA-1201. Частина легкої фази використовується як флегма колони легких фракцій DA-1201, яка подається насосом GA-1202. Зміну рівня спричиняє зміна подачі флегми в колону легких фракцій. Основна частина легкої фази повертається в реактор насосом GA-1206.

Зниження рециклу легкої фази в реактор призводить до збільшення вмісту води в сирій оцтовій кислоті, що викликає перевантаження колони обезводнення

DA-1202.

Для повернення йодистого водню на стадію синтезу використовуються властивості йодистого водню, який дуже летучий у чистому вигляді ($t_{\text{кип}}=35^{\circ}\text{C}$), проте його летучість різко знижується при підвищенні концентрації води в оцтовій кислоті понад 5% ваги. Тому йодистий водень в суміші з оцтовою кислотою утворює легкокиплячу фракцію, яка накопичується в кубі колони DA-1201, звідки подається в сепаратор FA-1101 самостійно.

Для зберігання апаратів, насосів і компресорів від підвищення тиску вони забезпечені пружинними запобіжними клапанами. Запобіжні клапани встановлені на збірнику каталізатора FA-1103, реакторі DC-1101 і колоні DA-1201, захищені від впливу агресивної пари, захисними розривними мембранами з контрольними вентилями для виявлення ушкодження мембран.

2.3 Характеристика сировини і готового продукту

Основним продуктами отримання проектованого цеху є оцтова кислота синтетична і оцтова кислота синтетична харчова. Побічними продуктами є: конденсат паровий, водень, скидний газ.

Технічні вимоги до отримуваних продуктів наведено в додатку А.

2.4 Матеріальний баланс

Вихідні дані:

Річна продуктивність агрегату з розрахунку на 100% оцтову кислоту – 157 000 т.

Річний фонд робочого часу 8450 год.

Склад матеріального потоку:

Технічний склад оксиду вуглецю потік №1 (ц,%): N_2 – 2; 3 – 97; H_2 – 1.

Технічний склад метанолу потік №2 (ц,%): CH_3OH – 99,9; H_2O – 0,1.

Дистилят колони відгону легких фракцій (DA1201) потік №3 (щ,%): CH_3I – 48,9; CH_3COOH – 22,4; $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ – 4,0; H_2O – 24,7.

Кубові залишки колони відгону легких фракцій (DA1201) потік №4 (щ,%): CH_3COOH – 90,3; $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ – 0,1; H_2O – 7,7; H_2 – 1,9.

Віддувні газы реактора потік №5 (щ, %): H_2 – 5,2; N_2 – 4,2; 3 – 30,1; CO_2 – 2,7; CH_3J – 26,0; CH_3COOH – 11,2; CH_3COOCH_3 – 1,1; H_2O – 19,5.

Рідка фаза з реактора №6 (щ, %): CH_3J – 9,7; CH_3COOH – 70,0; CH_3COOCH_3 – 0,9; C_2H_5COOH – 0,1; H_2O – 16,3; HJ – 3,0.

Віддувні газы сепаратора потік №7 (щ, %): H_2 – 12,0; N_2 – 9,7; 3 – 68,8 CO_2 – 4,9; CH_3J – 4,1; CH_3COOH – 0,1; CH_3COOCH_3 – 0,1; H_2O – 0,3.

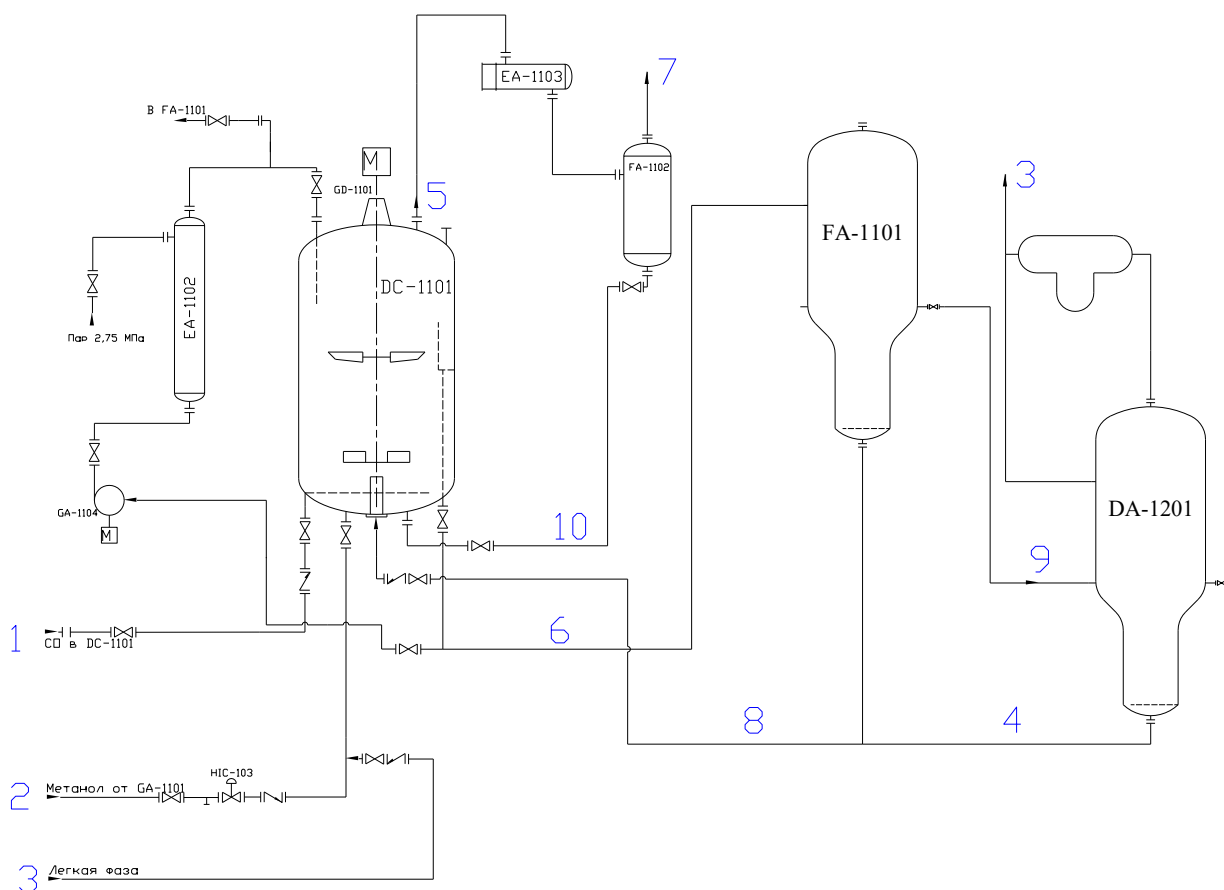


Рисунок 2.2 – Схема стадії синтезу

Годинна продуктивність реактора по 100% оцтовій кислоті:

$$\frac{157000 \cdot 1000}{8450} = 18579,9 \text{ кг/год. або } 309,7 \text{ кмоль/ год.}$$

Кількість пропіонової кислоти, що утворюється в процесі, 1кг на 1т оцтової кислоти:

$$1 \cdot 18,6 = 18,6 \text{ кг/ год. або } 0,251 \text{ кмоль/ год.}$$

За реакціями





витрачається:

- метанолу: $309,7 + 0,251 = 309,95$ кмоль/год. або 9918,4 кг/год.;
- оксиду вуглецю: $309,7 + 0,251 * 2 = 310,2$ кмоль/год. або 8685,66 кг/год.;
- водню: $0,251 * 2 = 0,502$ кмоль/ год. або 1,0 кг/год.;
- утворюється водяної пари 0,251 кмоль/год. або 4,52 кг/год.

За реакцією



витрачається 1,85% від загальної витрати оксиду вуглецю, що складає:

$$\frac{310,2 \cdot 1,85}{100 - 1,85} = 5,85 \text{ кмоль/година або } 163,7 \text{ кг/година.}$$

Витрачається водяної пари: 5,85 кмоль/год. або 105,3 кг/год.;

утворюється:

- діоксиду вуглецю: 5,85 кмоль/год. або 257,4 кг/г;
- водню: 5,85 кмоль/год., або 11,7 кг/год.

Всього витрачається за реакціями (2.1) - (2.3):

- оксиду вуглецю: $10,2 + 5,85 = 316,05$ кмоль/год. або 8849,4 кг/год.;
- водяної пари: $5,85 - 0,251 = 5,6$ кмоль/година або 100,8 кг/година;
- утворюється водню: $5,85 - 0,502 = 5,348$ кмоль/година або 10,7 кг/година.

Фактично подають сировини:

- технічного метанолу:

$$\frac{9918,4 \cdot 100}{99,9} = 9928,3 \text{ кг/год.}, \text{ зокрема води: } 9928,3 - 9918,4 = 9,9 \text{ кг/год.};$$

- оксиду вуглецю: $\frac{316,5 \cdot (100 + 16,4)}{100} = 368,4$ кмоль/год. або 10315,4 кг/год.,

де 16,4 – надлишок оксиду вуглецю від стехіометричної витрати %.

Розраховуємо склад технічного оксиду вуглецю (потік 1) (табл. 2.1):

Залишається оксиду вуглецю в реакційній масі:

$$368,4 - 316,05 = 52,35 \text{ кмоль/год. або } 1465,8 \text{ кг/год.}$$

Витрачається:

- дистиляту колони відгону легких фракцій: $18579,9 * 1,8 = 33443,82$ кг/год.;
- кубових залишків: $18579,9 * 0,0665 = 1235,6$ кг/год.,

де 1,8 і 0,0665 – масові відношення продуктів очищення оцтової кислоти, що подаються на синтез, і 100% оцтової кислоти.

Таблиця 2.1 - Розрахунок складу технічного оксиду вуглецю (потік 1)

	<i>H2</i>	<i>N2</i>	<i>CO</i>	Σ
$\varphi_i(x_i)$ %	1,0	2,0	97,0	100,0
n_{τ} , кмоль/год.	3,8	7,6	368,4	379,8
<i>M</i> , грам/моль	2	28	28	-
m_{τ} , кг/год.	7,6	212,8	10315,2	10535,6

Визначена витрата і склад потоків 3 і 4.

Наявність метилацетату в дистиляті колони відгону легких фракцій пояснюється тим, що, хоча на стадії синтезу він практично не утворюється, на наступних стадіях унаслідок протікання реакцій:



метилацетат накопичується в системі, оскільки реакція (2.5) протікає повільніше за реакцію (2.4).

Розраховуємо склад дистиляту (потік 3) (табл. 2.2):

Таблиця 2.2 – Розрахунок складу дистиляту (потік 3)

	CH_3I	CH_3COOH	$\text{CH}_3\text{COOCH}_3$	H_2O	Σ
ω_i %	48,9	22,4	4,0	24,7	100,0
m_{τ} , кг/год.	16354	7491,4	1337,8	8360,6	33443,8

Розраховуємо склад кубових залишків (потік 4) (табл. 2.3):

Таблиця 2.3 – Розрахунок складу кубових залишків (потік 4)

	CH_3COOH	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	H_2O	HI	Σ
ω_i %	90,3	0,1	7,7	1,9	100,0
m , кг/год.	1137	1,3	95,1	23,5	1235,6

Визначений склад реакційної маси наведено в табл. 2.4:

Таблиця 2.4 – Склад реакційної маси

	m_{τ} , кг/год.
H ₂	7,6+10,7= 18,3
N ₂	212,8
CO	1485,2
CO ₂	257,4
CH ₃ I	16354
CH ₃ COOH	18579,9+7491,4+1115,7= 27187
CH ₃ COOCH ₃	1337,8
C ₂ H ₅ COOH	1,3+18,6 = 19,9
H ₂ O	9,9+8260,6+95,1-100,8= 8264,8
HI	23,5
Σ	55160,7

Молярний потік віддувних газів реактора синтезу:

$$\frac{52,35 \cdot 89,0}{30,1} = 154,8 \text{ кмоль/год.},$$

де 56,042-кількість оксиду вуглецю в реакційній масі, кмоль/година; 89-ступінь віддувки оксиду вуглецю %; 30,1-об'ємна частка оксиду вуглецю в віддувних газах %.

Склад віддувних газів реактора (потік 5) наведено в табл. 2.5:

Таблиця 2.5 – Склад віддувних газів реактора (потік 5)

	$\varphi_i(x_i)$ %	n_{τ} , кмоль/год.	M_i , грам/моль	m_{τ} , кг/год.
H ₂	5,2	8,0	2	16,0
N ₂	4,2	6,5	28	182,0
CO	30,1	46,6	28	1304,8
CO ₂	2,7	4,2	44	184,8
CH ₃ I	26,0	40,3	141	5722,6
CH ₃ COOH	11,2	17,3	60,05	1038,0
CH ₃ COOCH ₃	1,1	1,7	74	125,8
H ₂ O	19,5	30,2	18	543,6
Σ	100,0	154,8	-	9117,6

Визначений молярний потік віддувних газів з сепаратора 1:

$$\frac{46,6 \cdot 98,5}{68,8} = 66,7 \text{ кмоль/г,}$$

де 98,5 - ступінь віддувки оксиду вуглецю %; 68,8 - об'ємна частка оксиду вуглецю у віддувних газах %.

Склад віддувних газів сепаратора 1 (потік 7) наведено в табл. 2.6:

Таблиця 2.6 – Склад віддувних газів сепаратора 1 (потік 7)

	$\varphi_i(x_i) \%$	n_{τ} , кмоль/год.	m_{τ} , кг/год.
H ₂	12,0	8,0	16,0
N ₂	9,7	6,47	181,2
CO	68,8	45,9	1285,2
CO ₂	4,9	3,3	145,2
CH ₃ I	4,1	2,7	383,4
CH ₃ COOH	0,1	0,07	4,2
CH ₃ COOCH ₃	0,1	0,07	5,2
H ₂ O	0,3	0,2	3,6
Σ	100,0	66,7	2024,0

Враховуючи склади потоків 5 і 7, розраховуємо склад рідкої фази сепаратора 1 (потік 10), m_{τ} , кг/год.: N₂-0,8; CO-19,6; CO₂-39,6; CH₃i-5339,2; CH₃COOH -1033,8; CH₃COOCH₃ -120,6; H₂O-540,0; що в сумі складає 7093,6 кг/год.

У реактор синтезу подають: 9918,4 кг/год. метанолу (потік 2), 10535,6кг/год. технічного оксиду вуглецю (потік 1), 33443,8кг/год. дистилляту (потік 3). Усього надходить в реактор 53897,8 кг/год.

Іде з сепаратора 1: 2024,0 кг/год. віддувного газу (потік 7), 53897,8 -2024,0= 51873,8 кг/год. рідкої фази.

Час перебування речовин в реакторі складає 15-18 хв, отже, кількість рідкої фази, що відбирається з реактора з метою забезпечення максимального ступеня конверсії метанолу (з розчиненими в ньому газами), складає:

$$\frac{51873,8 \cdot 60}{18} = 172912,7 \text{ кг/год.}$$

Враховуючи кількість газів в реакційній масі і у віддувних газах сепаратора 2 (потік 7), розраховуємо кількість газів, розчинених у рідкій фазі, m_r , кг/год.: H_2 -2,3; N_2 -31,6; CO -200; CO_2 -112,2; що в сумі складає –346,1/год.

Відбирають з реактора рідкої фази:

$$172912,7 - 346,1 = 172566,6 \text{ кг/год.}$$

Розраховуємо склад рідкої фази з реактора (потік 6) (табл. 2.7):

Таблиця 2.7 - Розрахунок складу рідкої фази з реактора (потік 6)

	CH_3I	CH_3COOH	CH_3COOCH_3	C_2H_5COOH	H_2O	HI	Σ
ω_i %	9,7	70,0	0,9	0,1	16,3	3,0	100,0
m , кг/год.	16739,0	120796,6	1553,1	172,6	28128,4	5177,0	172566,6

У сепаратор 2 подають також кубові залишки (потік 4) в кількості 1235,6 кг/год. Рідку фазу з реактора дроселюють і розділяють в сепараторі 2. У віддувні гази на виході з сепаратора переходить 346,1 кг/год. всіх розчинених газів, 23,5 кг/год. йодоводню з кубових залишків, 19,9 кг/год. пропіонової кислоти, що в сумі складає – 389,5 кг/год.

Враховуючи склад реакційної маси і віддувних газів сепаратора 1 (потік 7), розраховуємо кількість решти компонентів віддувних газів (потік 9), m_r , кг/год.: H_2 -2,3; N_2 -31,6; CO -200; CO_2 -112,2; CH_3I -15970,6; CH_3COOH -27182,8; CH_3COOCH_3 -1332,6; C_2H_5COOH -21,4; H_2O -8261,2; HI -23,5; що в сумі складає – 53138,2 кг/год..

Враховуючи склади потоків 4, 6 і 9, розраховуємо склади рідкої фази сепаратора 2 (потік 8), кг/год.: CH_3I -768,4; CH_3COOH -94729,5; CH_3COOCH_3 -220,5; C_2H_5COOH -152,5; H_2O -19962,3; HI -5177; що в сумі складає – 121010,2 кг/год.

Складаємо матеріальний баланс реактора синтезу (табл. 2.8).

Таблиця 2.8 – Матеріальний баланс реактора синтезу

Входить	кг/г	кг/с	%	Виходить	кг/г	кг/с	%
Метанол				Отдувочні газы:			
CH ₃ OH	9918,4		99,9	H ₂	16		0,19
H ₂ O	9,9		0,1	N ₂	182		2,12
Ітого:	9928,3	2,758	100	CO	1304,8		15,23
Технічний окис углецю:				CO ₂	184,8		2,15
CO	10315,2		97,91	CH ₃ I	5722,6		66,7
H ₂	7,6		0,07	CH ₃ COOH	1038		12,14
N ₂	212,8		2,02	CH ₃ COOCH ₃	125,8		1,47
Ітого:	10535,6	2,927	100	H ₂ O	543,6	0,152	
Дистілят				Ітого:	9117,6	2,533	100
CH ₃ I	16354		48,9	Рідка фаза:			
CH ₃ COOH	7491,4		22,4	H ₂	2,3		0,00
CH ₃ COOCH ₃	1337,8		4	N ₂	31,6		0,02
H ₂ O	8260,6		24,7	CO	200		0,12
Ітого:	33443,8	9,29	100	CO ₂	112,2		0,06
Рідка фаза із сепаратора 1				CH ₃ I	16739		9,68
N ₂	0,8			CH ₃ COOH	120796,6		69,86
CO	19,6		0,28	CH ₃ COOCH ₃	1553,1		0,90
CO ₂	39,6		0,57	C ₂ H ₅ COOH	172,6		0,10
CH ₃ I	5339,2		75,19	H ₂ O	28128,4		16,27
CH ₃ COOH	1033,8		14,63	HI	5177		2,99
CH ₃ COOCH ₃	120,6		1,71	Ітого:	172912,8	48,031	100,00
H ₂ O	540		7,62				
Ітого:	7093,6	1,97	100				
Рідка фаза із сепаратора 2:							
CH ₃ I	768,4		0,63				
CH ₃ COOH	94729,5		78,28				
CH ₃ COOCH ₃	220,5		0,18				
C ₂ H ₅ COOH	152,5		0,13				
H ₂ O	19962,3		16,50				
HI	5177		4,28				
Ітого:	121010	33,61	100				

Всього:	182012	50,56
----------------	--------	-------

Всього:	182030	50,72
----------------	--------	-------

Складаємо матеріальний баланс стадії синтезу оцтової кислоти (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 – Матеріальний баланс стадії синтезу оцтової кислоти

Входить	кг/г	Виходить	кг/г
Метанол:		Отдувочні газы із сепаратора 1	
CH ₃ OH	9928,3	H ₂	16
H ₂ O	9,9	N ₂	181,2
Ітого:	9938,2	CO	1285,2
Технический окис углецю		CO ₂	145,2
CO	10315,2	CH ₃ I	383,4
H ₂	7,6	CH ₃ COOH	4,2
N ₂	212,8	CH ₃ COOCH ₃	5,2
Ітого:	10535,6	H ₂ O	3,6
Дистілят:		Ітого:	2024
CH ₃ I	16354	Отдувочні газы із сепаратора 2	
CH ₃ COOH	7491,4	H ₂	2,3
CH ₃ COOCH ₃	1337,8	N ₂	31,6
H ₂ O	8260,6	CO	200
Ітого:	33443,8	CO ₂	112,2
Кубові залишки:		HI	23,5
CH ₃ COOH	1115,7	CH ₃ I	15970,6
C ₂ H ₅ COOH	1,3	CH ₃ COOH	27182,8
H ₂ O	95,1	CH ₃ COOCH ₃	1332,6
HI	23,5	C ₂ H ₅ COOH	21,4
Ітого:	1235,6	H ₂ O	8261,2
		Ітого:	53138,2
Всього:	55153,2	Всього:	55162,2

Розрахунок основних витратних коефіцієнтів.

Витратні коефіцієнти:

- по метанолу технічному: $\frac{9928,3}{18579,9} = 0,534$ кг/кг;

- по оксиду вуглецю: $\frac{10535,6}{18579,9} = 0,567$ кг/кг.

2.5 Технологічний розрахунок реактора синтезу

Реактор призначений для синтезу оцтової кислоти в газорідному середовищі з метанолу і оксиду вуглецю у присутності йодоводневої кислоти,

каталізатора – солей родію і промотора – метилїодіда. Для розрахунку вибраний вертикальний сталевий ємнісний циліндричний апарат з механічним перемішуючим пристроєм.

Визначаємо корисну місткість реактора:

$$V = m_{\tau} \cdot \tau / \rho_{жс}, \quad (2.6)$$

де m_{τ} – масова витрата реакційної маси, кг/с;

τ – максимальний час її перебування в реакційній зоні, с;

$\rho_{жс}$ – густина реакційної маси, кг/м³.

$$V = \frac{50.56 \cdot 18 \cdot 60}{1150} = 47,48 \text{ м}^3.$$

Приймаємо реактор з двома еліптичними днищами і циліндровою обичайкою діаметром $D = 3000$ мм і висотою обичайки $h = 6$ м, об'єм якого складе:

$$V_p = \pi \frac{D^2}{4} \cdot h + 2 \cdot V_{дн}, \quad (2.7)$$

$$V_p = \pi \frac{3^2}{4} \cdot 6 + 2 \cdot 4,225 = 50,85 \text{ м}^3.$$

2.6 Тепловий розрахунок

З огляду на те, що реактор синтезу оцтової кислоти не забезпечується додатковими пристроями (сорочка, змійовик тощо) необхідний тепловий режим забезпечується підігрівачем метанолу.

З метою розрахунку теплового навантаження на підігрівач визначається тепловий ефект реакції. Тепловий ефект реакції є сумарною кількістю тепла, яке виділяється або поглинається при протіканні хімічного процесу. Так для карбонілізації метанолу тепловий ефект реакції виглядає таким чином:

$$q_p = q_{CH_3COOH} - (q_{CH_3OH} - q_{CO}), \quad (2.8)$$

де q_p – теплота реакції, ккал/Г*моль;

q_{CH_3COOH} - теплота утворення оцтової кислоти, ккал/Г*моль;

q_{CH_3OH} - теплота утворення метанолу, ккал/Г*моль;

q_{CO} - теплота утворення оксиду вуглецю, ккал/Г*моль.

$$q_p = -484,09 - (-238,57 - 110,5) = -135,02 \frac{\text{ккал}}{\text{г} \cdot \text{моль}} = -566 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}}.$$

Визначаємо теплове навантаження підігрівача:

$$Q = q_p \cdot W_m, \quad (2.9)$$

де q_p – теплота реакції $\frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}}$;

W_m – витрата метанолу $\frac{\text{кмоль}}{\text{с}}$.

$$Q = 566 \cdot 0,093 = 53 \text{кВт}.$$

3 Опис конструкції і принцип роботи реактора синтезу

Реактор синтезу призначений для синтезу оцтової кислоти з метанолу і окислу вуглецю у присутності каталізатора – солей родію і промотора – йодистого метилу і йодистого водню. Є вертикальним циліндровим апаратом, що складається з циліндрової обичайки і двох еліптичних днищ. Забезпечений перемішувачим пристроєм для забезпечення ретельного перемішування всіх потоків що надходять у реактор. У нижній частині реактора встановлено барботаже кільце, яке забезпечує швидке розчинення оксиду вуглецю реакційної рідини.

Метанол і оксид вуглецю подаються в реактор синтезу, де при температурі 232 °C і тиску 3,21 МПа проводиться синтез оцтової кислоти. Метанол у реактор подається насосом зі збірника метанолу. Перед надходженням у реактор синтезу метанол нагрівається в паровому підігрівачі. Час перебування речовин у реакційній зоні (0,25-0,3 ч) регулюється рівнем рідини в реакторі (75-80% від його місткості).

Оксид вуглецю подається в реактор зі стадії газорозділу компресором без підігрівання через барботаже кільце. У результаті утворюється дисперсна фаза, що забезпечує швидке розчинення реакційної рідини. Повнота процесу забезпечується ретельним перемішуванням мішалкою всіх потоків, що надходять у реактор.

Реактор забезпечений рядом технологічних штуцерів і люком.

4 Вибір основних конструкційних матеріалів

Матеріал для виготовлення корпусу апарату вибираємо з урахуванням властивостей робочого середовища в апараті, тиску і температури.

У середовищі оцтової кислоти, що відноситься до 3-го класу небезпеки згідно ГОСТ 12.1.007-76, при робочій температурі 232°C і тиску 3,21 МПа сталь Ст3сп5 + Н70м27ф. Таким чином, корпус апарату, патрубки штуцерів, трубопровідні фланці слід виготовляти з біметалу Ст3сп5 + Н70м27ф.

Виготовлення цього матеріалу здійснювати таким чином. Пакет зібрати з двох внутрішніх пластин сплаву Н70м27ф і двох зовнішніх пластин Ст3сп5. Для запобігання окисненню сплаву Н70м27ф при нагріванні пакету на один бік пластини нанести шар нікелю товщиною 50-60 мкм, на інший – вогнетривку пасту, яка служить також розділовим шаром. Перед збиранням пакету контактні поверхні заготовок сталі і сплаву знежирити. Зварювання зібраних у спеціальних струбцинах пакетів виконувати вручну електродами типу Е42. Перед плющенням пакети нагрівати до 1200°C протягом 3 год. в камерній газовій печі. Нагріті пакети розкатати на стані 940/450. Після обрізання кромки пакет, що розкатано, розділити на два плакуючих листи завтовшки 38 мм з товщиною плакуючого шару 3 мм.

Перевірити біметалічний лист на зріз так, щоб зусилля не перевищувало 22,1 кг/мм².

Матеріал для виготовлення валу і кріпильних виробів всередині апарату сплав 0Х15Н55М16В.

Матеріал прокладки по [19] приймаємо пароніт ПОН 2.0 по ГОСТ 481-80.

Матеріал опорних лап і цапф для стропування – сталь Ст3сп5 ГОСТ 380-94.

5 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість

5.1 Визначення розрахункових параметрів

5.1.1 Розрахункова температура

Робоча температура в апараті 232 °С.

5.1.2 Напруга, що допускається

Допустимі напруги сталі Ст3сп5 при розрахунковій температурі:

$$\sigma_{20} := 154 \text{ МПа}; \quad \sigma := 131 + \frac{142 - 131}{50} \cdot 18 \quad \sigma = 134.96 \text{ МПа.}$$

5.1.3 Робочий, розрахунковий і пробний тиск

Робочий тиск в апараті при температурі 232 °С:

$$P_{\text{раб}} := 3.1 \text{ МПа}$$

Тиск при повному відчиненні запобіжного клапана:

$$\begin{aligned} P_{\text{к}} &:= 1.15 \cdot P_{\text{раб}}, \\ P_{\text{к}} &= 3.565 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Елементи апарату повинні розраховуватись на тиск, що становить 90% тиску при повному відчиненні клапана.

$$\begin{aligned} P_{\text{р}} &:= 0.9 \cdot P_{\text{к}} \\ P_{\text{р}} &= 3.21 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Гідростатичний тиск за умови заповнення апарату до рівня переливної кишені:

$$P_{\text{Г}} = \rho_{\text{с}} \cdot g \cdot H_{\text{в}} \cdot 10^{-6}, \quad (5.3)$$

де H - висота стовпа рідини в апараті, що визначається конструктивно;

$\rho_{\text{с}} := 687.3 \text{ кг/м}^3$ - густина середовища.

$$D := 3.0 \text{ м}, \quad H_2 := 4.852 \text{ м}, \quad H_3 := 0.85 \text{ м.}$$

$$H = H_3 + H_2, \quad (5.4)$$

$$H := 0.85 + 4.852 \quad H = 5.702 \text{ м}$$

$$P_{\Gamma} := 687.3 \cdot 9.81 \cdot 5.702 \cdot 10^{-6} \quad P_{\Gamma} = 0.038 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск в апараті складає менше 5% від робочого тиску:

$$0.038 \text{ МПа} > 0.05 \cdot 3.21 = 0.161 \text{ МПа, тому}$$

$$P := P_p \quad P = 3.21 \text{ МПа}$$

Приймаємо $P := 3.21 \text{ МПа}$.

Пробний тиск, при якому проводиться випробування апарату:

$$P_{\text{пр}} = 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma} \quad P_{\text{пр}} := 1.25 \cdot 3.21 \cdot \frac{154}{134.96} \quad P_{\text{пр}} = 4.579 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск води при випробуванні визначаємо з умови повного заповнення апарата водою:

$$P_{\Gamma} = \rho_B \cdot g \cdot H_B \cdot 10^{-6} \quad (5.5)$$

де $H_{\Pi} := 7.602 \text{ м}$.

$$P_{\Gamma} := 1000 \cdot 9.81 \cdot 7.602 \cdot 10^{-6} \quad P_{\Gamma} = 0.075 \text{ МПа}$$

Розрахунковий тиск $P_{\text{и}} := P_{\text{пр}}$ при випробуванні дорівнює пробному тиску, оскільки гідростатичний тиск води при випробуванні складає менше 5% від пробного тиску:

$$0,075 \text{ МПа} < 0.05 \cdot P_{\text{пр}} = 0.229 \text{ МПа}$$

При виконанні умови:

$$P_{\text{и}} < 1.35 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma} \quad (5.6)$$

розрахунок апарату на міцність в умовах випробування проводити не потрібно

$$4,579 \text{ МПа} < 1.35 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma} = 4.945 \text{ МПа.}$$

Умова виконується, отже, розрахунок на міцність виконується тільки для робочих умов.

5.1.4 Коефіцієнт міцності зварних швів

При розрахунковому тиску 3,21 МПа і розрахунковій температурі 232 С для

вибухо-, пожежонебезпечного, шкідливого робочого середовища вибираємо групу апарату - 1.

Для апаратів 1 групи довжина контрольованих швів складає 100% від загальної довжини швів. Коефіцієнт міцності зварних стикових швів з двостороннім суцільним проваром.

5.1.5 Надбавки до розрахункової товщини конструктивних елементів

Надбавка для компенсації корозії C_1 прийнята, виходячи зі швидкості проникнення корозії, що максимально допускається, з боку робочого середовища. Оскільки основний шар - футерований, то приймаємо надбавку для корозії: $C_1 := 0$ мм.

5.2 Розрахунок циліндричної обичайки

5.2.1 Розрахунок товщини стінки обичайки від внутрішнього тиску

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_p - P} \quad S_p := \frac{3.21 \cdot 3000}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_p = 36.11 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_p + C$$

$$C = C_1 + C_2$$

$C_1 := 0$ - надбавка на корозію, мм;

$C_2 := 1.8$ - мінусовий допуск, мм.

$$C := C_1 + C_2 \quad C = 1.8 \text{ мм}$$

$$S := 36.11 + 1.8 \quad S = 37.91 \text{ мм}$$

З урахуванням стандартної товщини листа приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки: $S := 38$ мм.

Внутрішній тиск, що допускається:

$$P_B = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \phi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad P_B := \frac{2 \cdot 134.96 \cdot 1 \cdot (38 - 1.8)}{3000 + (38 - 1.8)} \quad P_B = 3.22 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності за внутрішнім тиском:

$$P < P_B; \quad (5.7)$$

$$3.21 \text{ МПа} < 3.22 \text{ МПа}$$

Умова виконується.

5.2.2 Перевірка умов застосування розрахункових формул

Набуте в результаті розрахунків значення S повинне задовольняти умові:

$$\frac{S - C}{D} \leq 0.1 \quad \frac{38 - 1.8}{3000} = 0.012$$

Умова виконується.

5.3 Розрахунок днища (кришки)

Верхнє еліптичне днище апарату працює під внутрішнім надлишковим тиском.

5.3.1 Розрахунок товщини стінки днища

Розрахункова товщина S_{1p} , мм

$R = D$ - радіус кривизни біля вершини днища

$$S_{1p} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot \sigma_a \cdot \phi_p - 0.5 \cdot P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot 3000}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 0.5 \cdot 3.21} \quad S_{1p} = 35.89 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки

$$S \geq S_p + C$$

$$C = C_1 + C_2$$

$C_1 := 0$ - надбавка на корозію, мм;

$C_2 := 1.8$ - мінусовий допуск, мм

$$C := C_1 + C_2 \quad C = 1.8 \text{ мм}$$

$$S_1 := 35.89 + 1.8 \quad S_1 = 37.69 \text{ мм}$$

З урахуванням стандартної товщини листа приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки: $S := 38$ мм.

5.3.2 Визначення допустимого тиску

$$P = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \phi_p \cdot (S_1 - C_p)}{R + 0.5 \cdot (S_1 - C_p)} \quad P := \frac{2 \cdot 134.96 \cdot 1 \cdot (38 - 1.8)}{3000 + 0.5 \cdot (38 - 1.8)} \quad P = 3.24 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності:

$$3.21 \text{ МПа} < 3.24 \text{ МПа.}$$

5.3.3 Перевірка умов застосування розрахункових формул

Набуте в результаті розрахунку значення товщини S_1 повинне задовольняти умові:

$$0.002 \leq \frac{S_1 - C_p}{D} \leq 0.1 \qquad \frac{38 - 1.8}{3000} = 0.01$$

$$0,002 < 0,01 < 0.100$$

Умова виконується.

Розрахунок інших параметрів устаткування наведено в додатку Б

6 Технологія виготовлення апарату

Корпус колони являє собою обичайку з привареними до неї еліптичними днищами.

Обичайка складається з внутрішньої обичайки сталі СтЗсп5 завтовшки 38 мм з плакуючим шаром сталі Н70м27ф завтовшки 3 мм. Верхні і нижні днища відбортовані еліптичні.

Виготовлення обичайки

Технологічний процес виготовлення обичайки повинен бути розроблений відповідно до вимог, встановлених правилами ДЕРЖНАГЛЯДОХОРОНПРАЦІ і галузевим стандартом ГСТУ 3-17-191-2000.

Типовий технологічний процес виготовлення обичайки:

1. Розконсервування листа сталі, процес видалення мастил консервацій або інших відкладень шкрябаннями, щітками, драттям, обдуванням парою або стислим повітрям. Для видалення глибоких подряпин, застосовують струменеве очищення (гідропіскострумне, абразивними порошками, дробом).

2. Правка листа (якщо необхідно) здійснюється для усунення або зменшення кривизни в допустимих межах. Проконтролювати стрілу прогину – для даного апарату 12 мм на 1 м довжини.

3. Розмітка заготовки включає побудову розгортки і викреслювання її на площини. Розмір заготівки визначається по середній поверхні:

$$l = \pi \cdot (D + S), \quad (6.1)$$

$$l = 3,14 \cdot (3000 + 38) = 9540 \text{ мм.}$$

Розкрій повинен здійснюватися з мінімальними відходами. Розкрій виконати камеральним методом, тобто перенести розміри на матеріал за задалегідь розробленими ескізами розгортки.

4. Різання заготовки. Різання заготовки здійснити термічним шляхом за допомогою газоплазмової горілки.

5. Підготовка кромки під зварювання на кромко - фрезерному верстаті.

6. Складання під зварювання і зварювання листів заготовки. На спеціальних стендах встановити зазори під зварювання і вирівняти листи в горизонтальній площині. Величина зазору до 2 мм.

7. Підгинання кромки. Виконати на спеціальних кромко-гибочних машинах або гідравлічних пресах.

8. Вальцювання виконати в гарячому стані на три- або чотири валкових машинах. У цих машинах згинання листа здійснюється вальцюванням. У тривалкових машинах гибочним є середній валок, а в чотиривалкових – бічні валки. Лист, що підлягає вальцюванню, вводять у валки і згинають його переміщенням вниз середнього валка (тривальна машина) або підйомом угору бічних валків (чотиривальна машина). Згинання виконують за декілька пропусків. Після кожного пропуску кривизну листа збільшити до отримання замкнутої циліндрової обичайки.

Тривальна машина не дозволяє зігнути кромки листа при вальцюванні. На довжині дещо меншої половини відстані між бічними валками, кромки залишаються плоскими. Тому для отримання правильної циліндрової форми обичайок кромки заздалегідь підгинають. Операцію підгинання кромки виконують на гідравлічному пресі. Можливе підгинання кромки на тривалковій листогибочній машині втискуванням кінця листа в загинальну матрицю.

При вальцюванні обичайок на чотиривалковій машині додаткового обладнання для підгинання кромки не потрібно.

9. Складання поздовжнього стику обичайки. Установити необхідні зазори і усунути зсув кромки.

10. Зварювання поздовжнього стику.

11. Правка обичайки. Виконувати на валкових машинах і на розсувних оправках радіальним розтягуванням. Розмітка отворів.

12. Виконати обробку отворів, торців обичайки і скосів.

Зварювальні шви в обичайках, зварених з карт, мають у своєму розпорядженні паралельну твірну; ширина листів між швами не менше 800 мм, а ширина замикаючої вставки не менше 400 мм.

Виготовлення днищ

Процес виготовлення днищ включає три етапи:

1. Виготовлення заготовки:

- Розконсервування (біля обичайки);
- Розрахунок розгортки, розмітка. Способи розкрою заготовки

регламентуються галузевим стандартом ГСТУ 3-17-191-2000. Якщо по центру нижнього днища розташований підп'ятник, то круговий сегмент не виготовляти;

- Різка;
- Обробка кромки;
- Збірка під зварювання;
- Зварювання.

2. Формування. Днища виготовити штампуванням на пресах і обкаткою роликками. При формуванні горизонтальну заготовку встановити на нижній штамп. Далі заготовку відцентрувати і притиснути верхнім штампом.

3. Завершальна стадія:

- Обрізання;
- Обробка кромки під зварювання з обичайкою.

Провести термообробку.

Технічні вимоги до виготовлення днищ.

Проконтролювати шаблоном розміри і форму, при цьому висота окремих опуклостей і увігнутостей не повинна перевищувати 4-6 мм. Стоншення або потовщення допускається до 15% від початкової товщини заготовки, але товщина в місці стоншення має бути не менш розрахункової. Відхилення внутрішнього діаметру відбортованої частини не більше ніж $\pm 1\%$ від діаметру. Відносна овальність відбортованої частини не більше 1% від діаметру.

З'єднання відбортованих днищ з обичайкою виконувати стиковими швами з повним проваром.

Виготовлення штуцерів і люка

Для виготовлення фланців, у якості заготовки використовувати штампування; для люка, використовувати зварні заготовки.

Технологічний процес виготовлення фланців

1. Виготовлення заготовки;

2. Токарна обробка на токарних або токарно - карусельних верстатах. Здійснити підрізання торців, обробку зовнішнього діаметру, обробку конічної втулки, розточування внутрішнього діаметру, обробку поверхонь ущільнювачів.

3. Свердлення отворів на вертикально-свердлувальних верстатах.

При збиранні штуцерів і люка необхідно забезпечити перпендикулярність осі патрубку до поверхні ущільнювача фланця, крім того необхідно витримати встановлені зазори при зварюванні. Для фланців, приварених у стик, зазор між конічною втулкою і патрубком повинен складати 1-2 мм.

Контроль якості зварних швів

Відбирається зразок і проводиться ультразвуковий контроль. Потім відрізають частину, яка деформувалася через термічний вплив при зварюванні, шляхом механічної обробки, залишаючи припуск на подальшу обробку, проводять механічну обробку внутрішньої і зовнішньої поверхні півсферичного корпусу. Заздалегідь підігрівши, зварюють горловину, основу лазу і вварюються штуцери. Зварювані шви контролюють мангфлоском і проводять відпал для зняття залишкової напруги. Контроль виконують ультразвуком і просвічуванням рентгенівськими променями. Потім обробляють поверхні ущільнювачів фланцевих з'єднань і нарізають різь для шпильок. Кромки під зварювання кільцевого шва перевіряють кольоровою дефектоскопією або магнітним контролем. Виконують остаточну перевірку розмірів.

7 Ремонт і монтаж устаткування

7.1 Підготовка устаткування до ремонту

Підготовка устаткування до ремонту суттєво впливає на повноту усунення дефектів, а також на кількість ремонту. Крім того, правильна підготовка устаткування до ремонту дуже важлива для забезпечення безпеки персоналу, зайнятого на ремонтних роботах. Послідовність і зміст операцій щодо виведення працюючого устаткування в ремонт пояснюється в технологічних інструкціях.

Устаткування виводиться з роботи в плановому порядку обслуговуючим персоналом за вказівкою особи, відповідальної за його стан і безпечну експлуатацію. Зупинене устаткування розхолоджується і звільняється з робочого середовища. Потім його від'єднують від діючих трубопроводів і від іншого устаткування установкою заглушок. Заглушки, що встановлюються у фланцевих роз'ємах, виготовляють відповідно до вимог норм із пофарбованими в червоний колір хвостовиками, з указівкою привласнених номерів, Ду і Ру. Установка заглушок записується у вахтовому журналі з указівкою номера, місця і часу установки і прізвища виконавця. Так само реєструється і зняття заглушок.

Подальша підготовка устаткування включає дегазацію, дезактивацію, нейтралізацію і очищення поверхонь (внутрішніх і зовнішніх), повторюваних необхідну кількість разів. Ці операції проводяться в наступному порядку:

– промити водою, продути азотом до відсутності вибухонебезпечних і токсичних речовин або наявності їх не більше допустимих масових концентрацій за стандартними нормами. на устаткуванні, що продувається, вивіщується плакат: «Увага! Апарат продувається азотом!»;

– продути повітрям до масової частки кисню не менше 20 %. Зняття кришки або арматурного блоку виконується тільки після отримання аналізу на кисень.

Підготовленість устаткування до ремонту підтверджується в наряді-допуску, який видається ремонтній бригаді.

Ремонт посудини проводять за технологією, розробленою ремонтною організацією до початку виконання ремонтних робіт. Матеріали, вживані при

ремонті, повинні відповідати вимогам Правил устрою і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.

Обсяг ремонту планується заздалегідь і уточнюється при проведенні внутрішнього огляду й обстеження стану металу при виведенні устаткування в ремонт.

Усі види ремонтів повинні виконуватися в суворій відповідності з графіком ППР, затвердженим головним інженером підприємства.

Виведення в ремонт устаткування здійснюється за письмовим розпорядженням начальника цеху із вказівкою особи, відповідальної за підготовку до ремонту, демонтажу (заступник начальника цеху, начальник зміни).

Акт здачі устаткування в ремонт підписує особа, відповідальна за підготовку устаткування до здачі в ремонт.

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

Ремонтні роботи із застосуванням відкритого вогню повинні виконуватися відповідно до «Типової інструкції щодо організації безпечного проведення вогневих робіт на вибухонебезпечних і вибухо-пожежонебезпечних об'єктах» і «Інструкцією щодо організації безпечного проведення вогневих робіт на пожежо- вибухонебезпечних об'єктах підприємства».

Вогневі роботи проводяться лише за наявності дозволу на проведення вогневих робіт.

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

Розболтування всякого виду з'єднань на комунікаціях і апаратах (навіть після оформлення акту-здачі устаткування в ремонт) здійснюється шляхом поступового відпускання болтів. Не дозволяється знімати гайки зі шпильок або

болтів до тих пір, поки робітник не переконається в тому, що апарат або ділянка трубопроводу не має тиску. Затягування гайок при ремонті має бути рівномірним, щоб уникнути перенапруження в окремих болтах.

Робітник, зайнятий на ремонтних роботах, що проводяться на висоті, повинен мати рятувальний пояс, за допомогою якого працюючий прив'язується до нерухомих конструкцій.

Перед початком роботи конструкція випробовується на міцність і стійкість.

При ремонті апарату не можна користуватися промасленими ганчірками, інструментом і прокладками. Слід приділити особливу увагу знежиренню трубопроводів і арматури, дотичних з киснем і азотною кислотою.

Після проведення знежирення розчинник необхідно ретельно видалити із знежирюваної поверхні шляхом природного провітрювання або пропарити водяною парою, що не містить органіки. Знежирення трубопроводів, устаткування, арматури, що працюють у середовищі кисню, виконується згідно з «Інструкцією щодо знежирення устаткування, арматури, трубопроводів кисневих установок».

7.2 Характерні пошкодження і контроль зносу апарату

Умови роботи апарату, що експлуатується у виробництві аміаку, дуже важкі. Процеси, здійснювані в апараті, протікають при високому тиску і температурі. Усе це накладає підвищені вимоги до надійності цього устаткування. Надійність устаткування вважається за забезпечену, коли воно повністю відповідає технологічному призначенню в межах заданих параметрів роботи, якщо унеможливлено аварії. Залежно від умов роботи надійність устаткування з перебігом часу зменшується і може бути частково або повністю відновлена ремонтом.

Оскільки середовище в апараті має сильну корозійну дію, стінки апарату схильні до корозійного зносу.

Корозійне руйнування металу відбувається під дією хімічних процесів і буває суцільним, місцевим, міжкристалічним і селективним (структурно-

вибірковим).

Апарат синтезу оцтової кислоти схильний до корозії. Спосіб захисту – використання біметалу СтЗсп5+н70м27ф.

Разом із захистом устаткування від корозії проводять контроль його зносу від дії різних чинників. Передбачені "Правилами улаштування і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском" технічні огляди (внутрішні огляди і гідравлічні випробування) дозволяють знос посудини і можливість його подальшої експлуатації на момент випробувань і не дають уявлення про залишкову надійність посудини, достатності її для забезпечення безпечної експлуатації на період до наступного технічного огляду. Кількісну оцінку надійності (у тому числі і залишкову) дозволяють дати виміри швидкості корозії і величини зносу, визначення характеристик механічних властивостей металу, мікроструктурний аналіз, а також контроль щільності зварних з'єднань.

Швидкість корозії визначають за кількістю металу, що перейшов у продукти корозії, тобто за зменшенням маси зразка, поміщеного в робоче середовище. Втрати маси зразка виражають в грамах на квадратний сантиметр на добу або в грамах на квадратний метр на рік.

Величину зносу визначають вимірами товщини стінки і порівнянням її з початковою. Вимірювання виконують ультразвуковими або радіаційними товщиномірами, а іноді вимірами вимірювальним інструментом довжини, утворюючи наскрізні отвори, просвердлені у стінках посудини.

7.3 Приймання устаткування в експлуатацію після ремонту

Після закінчення ремонтних робіт встановлюють на місце всі зняті огорожі і запобіжні пристрої. Перевіряється їх справність.

Приймання устаткування з ремонту в експлуатацію виконується після закінчення всіх видів робіт, передбачених дефектною відомістю і після записів у ремонтному журналі проведеного ремонту, включаючи випробування. Уся документація, пов'язана з ремонтом, додається до паспорта устаткування.

Устаткування після ремонту приймає начальник зміни від механіка цеху. При цьому він перевіряє виконання всіх пунктів дефектної відомості, чистоту

робочих місць, готовність устаткування до роботи по електрочастині і КІП і А. Після закінчення випробування й оформлення записів у ремонтному журналі оформлюється акт приймання устаткування з ремонту. Акт підписує начальник зміни, заступник начальника цеху, майстер по ремонту, механік цеху і затверджує начальник цеху.

Без двостороннього підпису в акті-приймання устаткування не може бути прийняте в експлуатацію.

Акт приймання, здачі устаткування в ремонт і з ремонту, дефектні відомості зберігаються спільно з ремонтним журналом.

7.4 Монтаж устаткування

Під монтажем устаткування мається на увазі комплекс робіт, пов'язаних із приведенням його в робочий стан. Для цього устаткування, що монтується, має бути повністю зібране, встановлене в проектне положення і включене в технологічну схему агрегату або установки.

Монтаж технологічного устаткування виконується при будівництві нових або реконструкції старих виробничих майданчиків, а також при заміні устаткування, що вийшло з ладу, новим.

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

1. Затвержені і передані монтажною організацією проектно-кошторисна документація і проект виконання робіт.

2. Підготовлені склади і майданчики для великогабаритної збірки устаткування, трубопроводів, металоконструкцій.

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

4. Прокладені магістральні і розвідні мережі і встановлені пристрої для подачі електроенергії, води, пари, стислого повітря, горючих газів, інертних газів тощо.

5. Змонтовано освітлення в зоні монтажу.
6. Доставлено устаткування, трубопроводи, металоконструкції і матеріали.
7. Виконані необхідні будівельні роботи, зроблені монтажні отвори, встановлені заставні вироби, посилені за необхідності будівельні конструкції.

На початок монтажних робіт має бути змонтоване підйомно-транспортне устаткування, виконані заходи щодо охорони праці, техніки безпеки, протипожежної безпеки. Має бути перевірена відповідність проекту розташування штуцерів устаткування, опорних конструкцій. Результати перевірки оформляються актами.

Апарат на місце монтажу доставляється автотранспортом у зібраному вигляді. Підйом і установку в проектне положення здійснюють за допомогою крану.

Перш ніж закріпити апарат, його вивіряють в вертикальній площині.

Апарат перевіряють на вертикальність по нанесених до його установки ризках. Чотири ризки наносять яскравою фарбою під кутом 90° одна до іншої вгорі апарату і чотири ризки співвісним верхнім вниз.

Перевірений апарат фіксують, затягуючи гайки фундаментних болтів. Зварюванням виконують прихватки дотичної площини підкладок. Відхилення від вертикалі, яка утворюється апаратом не повинно перевищувати 0,3 % від висоти апарату і складати не більше 35 мм.

8 Охорона праці й техніка безпеки

8.1 Основні фізико-хімічні властивості, токсичність, пожежо- і вибухонебезпечність речовин, які застосовують і одержують у виробництві оцтової кислоти

В таблицях 8.1 – 8.3 наведено основні фізико-хімічні властивості сировини, показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин, які застосовують і одержують у виробництві оцтової кислоти та характеристика виробництва.

Таблиця 8.1 - Основні фізико-хімічні властивості сировини

Назва речовин	Агрегатний стан	Температура плавлення °С	Температура кипіння °С	Примітка
Оцтова кислота	рідина	16,63	118,1	
Оксид вуглецю	газ	-191,5	-205	
Метанол	рідина	-97,68	64,7	
Йодистий водень	газ	-51	-35,5	
Йодистий метил	рідина	-	42,4	

Таблиця 8.2 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності

Речовина	Температура спалахування, °С	Температура самозаймання, °С	Межі поширення полум'я, концентрація				Межі спалахування	
			г/м ³		% об.		нижня	верхня
			нижня	верхня	нижня	верхня		
Оцтова кислота	-	465	-	-	3,3	22,0	35	76
Оксид вуглецю	-	605	-	-	12,5	74,5	-	-
Метанол	13	440	92	470	6	34,7	7	39

Таблиця 8.3 – Характеристика виробництва

Речовина	Клас шкідливості	ГДК в робочій зоні, мг/м ³	Характер дії на організм людини	Засоби індивідуального захисту
Оцтова кислота	3	5	<p>Оцтова кислота, як у рідкому, так і в газоподібному стані викликає роздратування слизистих оболонок верхніх дихальних шляхів і очей. Тривала дія пари оцтової кислоти викликає хронічне захворювання носоглотки й гортані, кон'юнктивіти.</p> <p>Дія кислоти на шкіру виявляється появою почервоніння й болю, потім утворенням брудно-білих струпів, характерних для хімічного опіку тіла.</p>	<p>Захисними засобами від оцтової кислоти є гумові рукавички, гумові чоботи, фартух, суконний фільтруючий спецодяг, протигаз марки "М" або "А", окуляри герметичні.</p>
Оксид вуглецю	4	20	<p>Отруєння відбувається непомітно. При отруєнні спостерігається головний біль, запаморочення, шум у вухах, загальна слабкість, прискорення пульсу, нудота, блювота. При сильних отруєннях оксидом вуглецю з'являється м'язова слабкість, швидка стомлюваність, задишка, головний біль, дратівливість, розлад дихання, серцевої діяльності.</p>	<p>Захисними засобами від оксиду вуглецю є фільтруючі протигази, марки "СО" і "М". Користуватися фільтруючими протигазами "СО" і "М" необхідно при концентрації оксиду вуглецю не більше 0,5 % і не менше 18 % вільного кисню. При порушенні цих умов необхідно користуватися ізолюючим протигазом шланговим або ізолюючим респіратором Р-34.</p>

Речовина	Клас шкідливості	ГДК в робочій зоні, мг/м ³	Характер дії на організм людини	Засоби індивідуального захисту
Метанол	3	5	Отруєння організму людини може бути як від потрапляння всередину метанолу, так і від вдихання пари метанолу, а також при проникненні його через шкіру. Отруєння організму людини може відбутися від потрапляння (5-10) мл метанолу. Доза в 30 мл і більш є смертельною.	Захисними засобами від метанолу є ізолюючі фільтруючі протигази, протигази марки "А" або "М" і ізолюючий респіратор Р-34.
Йодистий водень	2	1	При попаданні на шкіру йодистоводнева кислота викликає руйнування тканин і важкі опіки.	Індивідуальні засоби захисту від йодистого водню: шланговий ізолюючий протигаз, фільтруючий респіратор Р-34, протигаз марки "М", "А".
Йодистий метил	2	1	<p>При попаданні йодистого метилу на шкіру, в очі, усередину, він викликає важкі опіки, а також гострі й хронічні захворювання. Симптоми: утворення бульбашок, обширне почервоніння і набряк. Проникає через шкіру.</p> <p>Тривала дія пари йодистого метилу викликає захворювання легенів, їх набряк, нудоту, блювоту, неясність промови, запаморочення, тремтіння.</p>	Гумові рукавички, гумові чоботи, фартух, захисні окуляри, шланговий ізолюючий протигаз, фільтруючий респіратор Р-34, протигаз марки "М".

8.2 Небезпечні й шкідливі виробничі чинники у виробництві оцтової кислоти

Наявність підвищеного тиску в апаратах і комунікаціях, можливість їх розгерметизації і викид вихідної сировини, напівпродуктів і готової продукції, що може привести до хімічних і термічних опіків, інтоксикації людей, вибуху, пожежі.

Наявність високої температури. При зіткненні з середовищем або гарячими поверхнями устаткування й комунікацій можливі термічні опіки.

Використання електричної енергії, що може привести до ураження електричним струмом.

Наявність рухомих механізмів, що обертаються, при недотриманні правил експлуатації яких можливе отримання механічних травм.

Розміщення запорної і регулюючої арматури, комунікацій і устаткування на висоті більше 1,3 м: при недотриманні правил роботи на висоті можливе отримання механічних травм.

Наявність пожежо- і вибухонебезпечних речовин, витік яких з устаткування і комунікацій може привести до вибуху й пожежі.

Наявність шкідливих речовин, які при контакті з організмом, у разі порушення вимог безпеки, можуть викликати виробничі травми, професійні захворювання або відхилення стану здоров'я, що виявляються сучасними методами дослідження, як у процесі роботи, так і у віддалені терміни життя, сьогодення і наступного покоління.

8.3 Класифікація і категорійність виробництва оцтової кислоти і його приміщень

Клас за санітарною характеристикою – II

Ширина санітарної зони – 500 м.

В таблиці 8.4 наведено класифікацію і категорійність приміщень виробництва оцтової кислоти

Таблиця 8.4 - Класифікація і категорійність приміщень виробництва оцтової кислоти

Найменування приміщень і зовнішніх установок	Найменування речовин, які перероблюються і зберігаються, кінцеві продукти	Категорія приміщень згідно з ОНТП-24-86	Класифікація вибухонебезпечних зон	
			Клас вибухонебезпечної зони	Категорія групи вибухонебезпечних сумішей
Відділ синтезу й очищення оцтової кислоти				
1. Зовнішня установка стадій синтезу й очищення оцтової кислоти.	Оцтова кислота, CO, CH ₃ OH, CH ₃ COOCH ₃ , HI, CH ₃ I, HI, CH ₃ I, I ₂ , RhI ₃ , CH ₃ COOH, CO	A	B-1г	ПАТ 2
2. Приміщення для приготування й регенерації каталізатора й приготування промотора.	CH ₄ , CO ₂ , H ₂ , CO, I, HI, CH ₃ I, N ₂	A	B-1a	ПАТ 2
3. Аналізаторне приміщення.		A	B-1a	ПСТ-1
4. Венткамера аналізаторного приміщення.	Приміщення з нормальними умовами праці	Д	—	—
5. Склад оцтової кислоти й насосна (зовнішня установка).	Оцтова кислота	A	B-1г	ПАТ 2

8.4 Заходи, що запобігають шкідливим і небезпечним виробничим чинникам

8.4.1 Вентиляція і опалювання

Пристрій і правильна експлуатація вентиляційних установок в цеху повинні забезпечувати в зоні перебування тих, що працюють, відповідні вимоги до санітарних норм, а також створювати більш сприятливі умови при веденні технологічного процесу збереження устаткування будівельних конструкцій.

У всіх виробничих і допоміжних приміщеннях має бути природна, механічна або змішана вентиляція.

Вентиляційні й опалювальні установки не повинні створювати шуму, що перевищує допустимі норми.

Для обслуговування вентиляційних установок розпорядженням цеху призначаються відповідальні особи з обслуговування вентустановок.

Без відома й дозволу особи, відповідальної за стан вентиляційно-опалювальних установок, не допускається вносити зміни, до вентиляції, що може порушити правильну роботу.

Приєднувати додаткове устаткування, знімати або замінювати окремі елементи установки (мотори, вентилятори тощо).

У разі зупинки вентиляційної установки у зв'язку з ремонтом або аварією майстер зміни зобов'язаний підтвердити своїм підписом у рапорті майстра зміни причини й тривалість перерви в роботі вентустановки.

Усі вентиляційні установки, як знову обладнані, так і ті, що пускаються в роботу після реконструкції або капремонту, піддаються приймальним випробуванням.

Порядок догляду за вентиляційними й опалювальними установками має бути встановлений відповідно до вимог «Інструкції з експлуатації вентиляційних систем»

8.4.2 Освітлення приміщень

Наближене природне освітлення, що здійснюється через світлові отвори в стінах будівель (бічне світло) або в світлових ліхтарях (верхнє світло),

розраховують виходячи з відношення майдану світлових отворів до площі підлоги (світловий коефіцієнт). Для будівель хімічних виробництв (цехів) світловий коефіцієнт приймається в межах 1/6:1/5.

Для штучного освітлення вибираємо електроосвітлювальну апаратуру-світильники підвищеної надійності (ПН) – призначені для приміщень, де вибухонебезпечні концентрації пари, газів і пилу можуть виникнути випадково.

За зоровим навантаженням виробничі приміщення (ЦПК) відносяться до 3 розряду - характеристика роботи точна, розмір об'єкту розрізнення більше 0,3-1 мм (шкали засобів виміральної техніки).

У виробничих приміщеннях необхідно передбачати робоче й аварійне освітлення.

Світильники робочого й аварійного освітлення повинні бути розташовані так, щоб забезпечувалася надійність їх кріплення, безпека, зручність обслуговування й необхідна освітленість. Для внутрішнього освітлення технологічних апаратів і споруд під час їх огляду і ремонтів у цеху повинні застосовуватися переносні світильники у вибухозахищеному виконанні напругою не більше 12 В.

8.4.3 Заходи боротьби з шумом і вібрацією

Для зменшення вібрації машин і устаткування, а також для усунення шуму прийняті такі заходи:

- амортизація і віброізоляція устаткування за допомогою ресор і пружних матеріалів;
- балансування деталей, що обертаються, і механізмів;
- застосування динамічних віброгасителів;
- звучні й резонуючі порожнини заповнюються демпфуючими матеріалами;
- біруші, навушники, індивідуальні засоби.

8.4.4 Індивідуальні засоби захисту

Для захисту органів дихання від шкідливої дії пилу використовуються

фільтруючі протигази марки «А» або «М», а також респіратори УК-2К и ШБ-1, пелюстка-40, пелюстка-5, Ф-62Ш.

Індивідуальний захист органів дихання від пилу здійснюється за допомогою протипилових респіраторів. Респіратор складається з двох основних частин:

- фільтру, який очищує від пилу повітря, що потрапляє в органи дихання,
- лицьової частини – засобу, що підключає цей фільтр до органів дихання й забезпечує такі умови, за яких повітря не може потрапити до дихальних шляхів, минаючи фільтр.

Ці основні частини в різних респіраторах за своєю конструкцією, формою й іншими властивостями відрізняються.

Залежно від стану повітряного середовища у виробничих приміщеннях (ступеня забруднення пилом) можна використовувати для захисту органів дихання від пилу протипилові респіратори «Пелюстка», «ШБ-1», «У-2К».

Найбільш ефективні респіратори щодо пилоутримання ті, в яких як фільтруючий матеріал використовуються фільтрпатрони ФПП, ФМП-Н (ефективність затримки пилу до 99-99,5%).

Для користування респіратором його необхідно одягнути на обличчя так, щоб підборіддя й ніс добре розмістилися всередині напівмаски.

8.4.5 Заходи захисту від статичної електрики

Іскри зарядів статичної електрики часто є джерелом пожеж і вибухів.

Під статичною електрикою звичайно розуміють електричні розряди, що утворюються в результаті тертя діелектрика об провідник або діелектрик.

У цеху статична електрика виникає головним чином при русі по трубопроводах рідин, що електризуються, і газів (оцтова кислота, метанол, окис вуглецю, суміш оцтової і пропіонової кислот).

Для захисту устаткування від утворення статичної електрики не допускається наповнення ємностей, цистерн, контейнерів вільно падаючим струменем рідких органічних продуктів. Заповнення цистерн, ємностей тощо повинно вестися по патрубку, що доходить до дна, аби уникнути вільного

падіння струменя.

Для уникнення накопичення статичної електрики на верстатах ємностей, збірників, цистерн, автоконтейнерів та ін. апаратів вони повинні заземлятися при спорощенні і наповнюванні. Справність заземлюючого дроту необхідно перевіряти постійно при проведенні спорощення і наповнювання.

Усі шлангові вузли на естакадах спорощення та наповнювання і точках заповнення цистерн, контейнерів тощо повинні мати справні перемички з дроту. Дріт необхідно надійно закріплювати на проушинах, приварених до патрубків. Гумові рукавички, гумові килимки.

8.4.6 Заходи електробезпеки

Заходи безпеки при роботі з електроінструментом

Працівники, допущені до роботи з електроінструментом, повинні заздалегідь пройти навчання й перевірку знань щодо безпечного виконання робіт з використанням електроінструменту.

До роботи з електроінструментом класу 1 допускаються працівники з 2 групою електробезпеки.

Для роботи з електроінструментом 2 і 3 класів досить 1 групи з електробезпеки.

При роботі з електроінструментом класу 1 застосування засобів індивідуального захисту (діелектричних рукавичок, калош, килимів тощо) обов'язкове.

У вибухонебезпечних зонах допускається використання електроінструменту з оформленням відповідного наряду-допуску.

Електроінструмент, що живиться від мережі, має бути обладнаний незнімним гнучким кабелем (шнуром) із штепсельною вилкою.

Електроінструмент має бути безпечним у роботі і не мати доступних для дотику струмопровідних частин.

Незйомний гнучкий кабель електроінструменту класу 1 повинен мати жилу, що з'єднує заземлюючий затиск електроінструменту із заземлюючим контактом штепсельної розетки.

Штепсельна вилка повинна мати відповідне число робочих і один заземлюючий контакт.

Кабель електроінструменту має бути захищений від випадкових пошкоджень і зіткнень із гарячими, вологими та мастильними поверхнями.

Забороняється вставляти робочу частину електроінструменту в патрон і виймати її із патрона, а також регулювати інструмент без відключення його від електромережі штепсельною вилкою і повної зупинки частин, що обертаються.

Забороняється витягувати стружку або ошурки під час роботи електроінструменту.

Забороняється обробляти інструментом обморожені й мокрі деталі.

Забороняється працювати електроінструментом, що не є захищеним від дії крапель і бризок, не має відзнак (крапля в трикутнику або дві краплі), в умовах дії крапель і бризок, а також на відкритих майданчиках під час снігопаду, дощу.

Забороняється продовження робіт електроінструментом при найменших ознаках його несправності, або якщо той, що працює з ним, раптово відчує хоча б слабку дію електричного струму. В обох випадках робота має бути негайно припинена, а несправний електроінструмент зданий для перевірки й ремонту.

Забороняється працювати з електроінструментом, у якого закінчився термін періодичної перевірки, а також у разі виникнення хоч би однієї з таких несправностей:

- пошкодження штепсельного з'єднання, кабелю або його захисної трубки;
- пошкодження кришки вимикача;
- ненадійна робота вимикача;
- іскріння щіток на колекторі, що супроводжується круговим вогнем на його поверхні;
- витікання мастила із редуктора або вентиляційних каналів;
- поява диму або специфічного запаху, характерного для ізоляції, що горить;
- поява підвищеного шуму, стукоту, вібрації;
- поломка або поява тріщин у пропускну́й деталі, рукоятці, захисній огорожі;

- пошкодження робочої частини інструменту;
- зникнення електричного зв'язку між металевими частинами корпусу і нульовим захисним штирем штепсельної вилки.

Електроінструмент, роздільні трансформатори безпеки, трансформатори, перетворювачі частоти, що відключають пристрої і кабелі-подовжувачі підлягають періодичній перевірці не рідше 1 разу на 6 місяців.

Захист від блискавки

Захист від прямих ударів блискавки передбачений блискавкоприймачами. Опір захисту від грози не повинен перевищувати 10 Ом. Захист від блискавки технологічного обладнання здійснюється за допомогою приєднання майданчиків і апаратів до контуру заземлення.

Опір кожного контуру має бути не більше 5 Ом. Заземлення обчислювальної машини і комп'ютера передбачено спеціальним контуром заземлення з опором не більше 2 Ом.

8.4.7 Пожежна безпека

За характером виконаних технологічних операцій і властивостями вживаних речовин, що утворюються, цех оцтової кислоти належить до пожежовибухонебезпечних.

Пожежа і вибух може відбутися: при недотриманні правил охорони праці, технологічних регламентів і інструкцій; при неправильному веденні вогневих робіт, від несправності проводки, від короткого замикання, від перевантаження електродвигунів, від несправності електронагрівальних приладів, від розряду статичної електрики, від грозового розряду, від самозаймання промасленого обтирального матеріалу, від самозаймання полімерів, активованого вугілля, від іскри при ударі, при пропуску горючих газів або рідин через пошкодження або нещільність у системі апаратів і комунікацій, при недотриманні правил зберігання горючих речовин тощо.

Пожежна безпека повинна забезпечуватися:

- системою запобігання пожежі;
- системою пожежного захисту.

Безпека людей має бути забезпечена при виникненні пожежі в будь-якому місці цеху.

Небезпечними чинниками пожежі, що впливають на людей є:

- відкритий вогонь та іскри;
- підвищена температура повітря, предметів та ін.;
- токсичні продуктів горіння;
- дим;
- обвалення і пошкодження будівель, споруд, установок;
- вибух;

Запобігання пожежі повинно досягатися:

- запобіганням утворенню горючого середовища;
- запобіганням утворенню в горючому середовищі (або внесення до неї) джерел запалення;
- підтримкою температур гарячого середовища нижче максимально допустимою за горючістю;
- підтримкою тиску в горючому середовищі нижче максимально допустимого за горючістю.

Пожежний захист повинен забезпечуватися:

- максимально можливим застосуванням негорючих і важкогорючих речовин і матеріалів замість пожежонебезпечних;
- обмеженням кількості горючих речовин і їх розміщенням;
- ізоляцією гарячого середовища;
- запобіганням поширенню пожежі за межі осередку;
- застосуванням засобів пожежогасіння;
- евакуацією людей;
- застосуванням засобів сповіщення про пожежу;
- застосуванням засобів колективного й індивідуального захисту людей (пінними вогнегасниками, пожежними кранами, брандсбойтами, асбестовим полотном, азотом, піском).

8.4.8 Заходи, що запобігають шкідливим і небезпечним чинникам з експлуатації й ремонту технологічного обладнання

Ремонтно-монтажні роботи

Підставою для зупинки на ремонт цеху, відділення, агрегату або окремих одиниць обладнання є наказ (розпорядження) по підприємству (цеху) з указівкою безпосереднього керівника робіт від підрядчика, а також осіб, відповідальних за підготовку обладнання або об'єкта в цілому до вказаних робіт, за проведення заходів, необхідних для забезпечення безпеки цих робіт і для оперативного зв'язку з підрядчиками або ремонтною службою замовника.

Наказ (розпорядження) доводиться до відома персоналу цеху і до керівника підрядної організації.

Користування стаціонарними підйомно-транспортними засобами і мережами стислого повітря, що діють, пари, води для проведення ремонтних робіт допускається з дозволу начальника цеху за заявкою безпосереднього керівника робіт підрядчика з відповідним записом у наряді-допуску. Підключення і відключення проводиться персоналом цеху.

Підключення електроенергії для потреб підрядчика, а також відключення після закінчення робіт проводиться оперативним персоналом енергослужби цеху з дозволу начальника цеху, за вказівкою начальника зміни. Підрядчик зобов'язаний погоджувати з енергетиком цеху питання про кількість потрібної для виконання робіт електроенергії.

На проведення ремонтних, а також аварійно-відновлювальних робіт оформляється наряд-допуск, який є письмовим дозволом на виконання робіт у відведеній ремонтній зоні.

Право видачі наряду-допуску надається начальникові цеху (заст. начальника цеху).

Особою, що безпосередньо допускає до виконання ремонтних робіт, від цеху може бути лише начальник зміни.

Наряд-допуск оформляється в двох примірниках. Перший примірник видається безпосередньому керівникові робіт підрядчика, другий - знаходиться у начальника зміни.

Щодня при допуску ремонтного персоналу до роботи наряд-допуск має бути підписаний від цеху - начальником зміни, від підрядчика - безпосереднім керівником робіт.

Після закінчення ремонтних робіт наряд-допуск оформляється підписами (обидва примірники) безпосереднього керівника робіт, а також начальника зміни і керівника відповідної служби цеху або начальника цеху (заст. начальника цеху), що приймають роботи.

Дозвіл на проведення вогняних робіт та наряд-допуск на проведення газонебезпечних робіт оформляються замовником і видаються безпосередньому керівникові робіт підрядчика.

Підготовлене до ремонту обладнання безпосередній керівник робіт приймає від начальника цеху із складанням акту.

Відремонтоване обладнання після випробування й обкатки приймається начальником цеху від безпосереднього керівника робіт підрядчика із складанням акту.

Після передачі підрядчикові обладнання в ремонт по акту і видачі наряду-допуску на виконання ремонтних робіт персоналу цеху забороняється проводити які-небудь роботи на цьому обладнанні та комунікаціях.

Персоналу підрядчика забороняється проводити які-небудь роботи на обладнанні до отримання наряду-допуску.

Випробування знову змонтованого або відремонтованого обладнання та трубопроводу проводиться в інертному середовищі під керівництвом безпосереднього керівника робіт підрядчика за участю уповноважених на це ІТП цеху.

Усі роботи по підключенню нового або відремонтованого обладнання до мереж, що діють, і агрегатів, комплексного випробування і переведення на робочий режим відповідно до регламенту й інструкцій цеху проводиться персоналом цеху під керівництвом начальника зміни, у присутності безпосереднього керівника робіт підрядчика.

Включення вказаного обладнання в постійну експлуатацію допускається лише після закриття наряду-допуску та оформлення акту прийому.

Безпосередній керівник робіт підрядчика й адміністрація цеху повинні підтримувати оперативний зв'язок з питань організації безпечного ведення робіт.

Допуск до проведення робіт

Важливим принципом забезпечення безпеки є система допусків (дозволів, нарядів) на проведення особливо небезпечних робіт. Ремонтний персонал не допускається до такого виду роботи без спеціального акту–допуску. У допуску, окрім інформації про склад бригади, час, місце і відповідальної за проведення робіт особи, визначаються заходи безпеки, обов'язкові при проведенні робіт, а також фіксується факт перевірки виконання цих заходів, що підтверджується підписом осіб, що проводили перевірку. Крім того, допуск узгоджується з іншими зацікавленими підрозділами підприємства (пожежною охороною, газорятівною службою та ін.) і зазвичай затверджується головним інженером підприємства.

Проведенню ремонтних робіт зазвичай передуює складання плану організації робіт (ПОР), який передбачає всі заходи щодо техніки безпеки й охорони праці при проведенні ремонту. Усі учасники робіт мають бути ознайомлені з тією частиною ПОР, яка їх стосується. ПОР повинен виключати одночасне проведення несумісних ремонтних операцій. Перед початком робіт усі учасники повинні пройти інструктаж з техніки безпеки.

Організація робочого місця

При виконанні ремонтних робіт підрядчик не повинен допускати захаращення проїздів до пожежних гідрантів, цехів, а також території навколо і всередині цехів різним обладнанням, матеріалами й будівельними відходами. Щодня після закінчення робіт безпосередній керівник зобов'язаний забезпечити прибирання робочих місць. У місцях, що представляють небезпеку при проведенні ремонтних робіт, підрядчиком має бути вивішений застережливий плакат, а отвори для передачі обладнання і матеріалів в ремонтну зону всередині цеху обгороджені.

Силами підрядчика обгороджують котловани і ями, вириті при виконанні робіт усередині цеху, а в місцях переходу людей через вириті в цехах і на

території підприємства траншеї встановлюються містки з перилами.

На огороженнях встановлюються попереджувальні написи і знаки, а в нічний час – спеціальне освітлення.

Риштовка і інші пристосування для виконання будівельно-монтажних робіт на висоті мають бути інвентарними, виготовлятися за типовими проектами і відповідати вимогам ГОСТ 12.2.012-75.

Для риштовок повинні застосовуватися лише металеві кріпильні елементи (болти, хомути, скоби). Стійки, рами, опорні сходи й інші вертикальні елементи лісів мають бути встановлені по схилу і розкріплюють зв'язками відповідно до проекту. Нижні частини стійок, розміщених біля проїздів, мають бути захищені від ударів проїжджаючого транспорту.

Забороняється встановлювати риштовки на нерівній поверхні, а також вирівнювати під ними поверхню за допомогою цегли, каменів, обрізків дошок, клинів і інших предметів. Забороняється кріпити риштовки до парапетів, карнизів, балок і інших виступаючих частин будівель і споруд.

При висоті стічних і підвісних риштовок більше 6 м має бути не менше двох настилів: робочий (верхній) і захисний (нижній). Роботи в декількох ярусах по одній вертикалі без проміжних захисних настилів між ними не допускається.

Підйом і спуск людей на риштовки допускається лише по сходах, розташованих на відстані не більше 40 м один від одного, із закріпленням верхнім кінцем до поперечини лісів, ухил сходів не повинен перевищувати 60° до горизонтальної поверхні.

Під час грози і при вітрі силою 6 балів і більше робота на риштовках, а також їх монтаж і демонтаж слід припиняти.

Зміцнення гачків, хомутів і пальців підвісних монтажних риштовок на вмонтованих елементах конструкцій повинно проводитися до їх підйому.

Підвісні риштовки, щоб уникнути розгойдування, мають бути прикріплені за допомогою прив'язки до стійких частин будівлі і споруди. Спирання консолей на карнизи не допускається.

Підвісні майданчики після монтажу мають бути закріплені канатами, клинами або іншими пристроями. Огорожі мають бути заввишки не менше 1–2

м з трьох боків.

Забороняється з'єднувати між собою суміжні секції підйомних лісів і колісок за допомогою драбин. Рух канатів при підйомі й опусканні колісок має бути вільним. Тертя канатів об виступаючі конструкції не допускається.

Проходи під навісами і підйомними лісами, а також колісками мають бути закриті або захищені навісами і позначені знаками безпеки.

Переносні сходи і драбини повинні мати пристрої, що запобігають при роботі можливості зсуву і перекиданню.

Розсувні сходи-драбини мають бути обладнані пристроями, що унеможливають їх мимовільне зрушення.

Загальна довжина сходів не повинна перевищувати 5 м. Вертикальні сходи з кутом нахилу до горизонту більш 75° при висоті більше 5 м повинні мати, починаючи з висоти 3 м огорожу у вигляді дуг.

Місця установки приставних сходів на ділянках руху транспорту або людей належить обгороджувати або охороняти.

Порядок підготовки обладнання до проведення ремонтних робіт

Обладнання і комунікації мають бути:

- зупинені згідно з вимогами технологічного регламенту;
- звільнені від продуктів, що залишилися в них;
- продуті азотом, повітрям;
- очищені від забруднень;
- відключені від діючого обладнання і комунікацій за допомогою заглушок (забезпечені пофарбованим у червоний колір хвостовиком і промарковані згідно з дефектною відомістю);
- здані в ремонт відповідно до вимог «Інструкції про порядок здачі і прийому обладнання в ремонт і з ремонту», або за аварійним актом.

Розбирати апарат лише у присутності начальника зміни або відповідального за проведення робіт.

Заходи щодо забезпечення безпеки зварювальних і інших вогневих робіт

До вогневих робіт належать виробничі операції, пов'язані із застосуванням

відкритого вогню, іскроутворенням і нагріванням до температур, здатних викликати займання матеріалів і конструкцій (електрозварювання, електрорізка, бензорізка, паяльні роботи, обробка металу з виділенням іскр тощо)

Вогневі роботи на тимчасових місцях проводяться безпосередньо в приміщеннях або на території підприємства з метою ремонту обладнання або монтажу комунікацій і будівельних конструкцій за спеціальним дозволом.

Постійні місця організовуються в спеціально обладнаних відповідно до протипожежних норм майстрових або відкритих майданчиках. Вогневі роботи на цих місцях проводяться без письмового дозволу.

На проведення вогневих робіт оформлюється дозвіл, що передбачає розробку й подальше здійснення комплексу заходів щодо підготовки й безпечного проведення робіт. Дозвіл складається й підписується спільно заступником начальника цеху за технологією і механіком цеху, у якому повинна проводитися робота. Після підписання начальником цеху дозвіл передається на затвердження начальникові виробництва, а по цехах, що не входять до складу виробництв, – керівнику служби.

Після затвердження дозвіл в 2-х примірниках передається в цех для остаточного оформлення. Начальник цеху напередодні дня проведення вогневих робіт направляє в пожежну частину письмове сповіщення з указівкою найменування цеху, номери корпусу, місця й характеру вогневих робіт і часу їх проведення.

Вогневі роботи діляться на два етапи – підготовчий і основний.

На підготовчому етапі мають бути проведені такі роботи:

- підготовка обладнання й комунікацій;
- підготовка місця проведення робіт;
- інструктаж виконавців робіт;
- наявність кваліфікаційних посвідчень і талонів про перевірку знань ТБ у виконавців робіт;
- справність інструментів і засобів для проведення робіт;
- наявність і справність засобів індивідуального захисту і первинних засобів пожежогасіння;

- контроль стану повітряного середовища.

На етапі безпосереднього виконання робіт:

- дотримання правил безпечної роботи із зварювальним обладнанням;
- періодичний контроль стану повітряного середовища;
- обов'язковий безпосередній контроль за проведенням робіт відповідальної особи;
- заходи безпеки по завершенню проведення вогневих робіт.

Техніка безпеки при проведенні вогневих робіт всередині ємностей

Проведення такого роду робіт вимагає письмового дозволу головного інженера, узгодження з органами пожежного нагляду, наявність акту-огляду ємності й дотримання особливих мір безпеки відповідно до спеціальної інструкції, а саме:

- повністю відкриті лази й люки, забезпечення максимального повітрообміну;
- обов'язкове заземлення ємності;
- цілісність ізоляції струмопроводів;
- неможливість зміни електродів при включеному струмі;
- наявність повного комплекту захисного одягу зварювальника;
- після закінчення робіт перед закриттям ємності перевірити її порожнечу і відсутність усередині сторонніх предметів.

Проведення випробувань технологічного устаткування

Агрегати й газові колектори, що працюють з запальними, вибухонебезпечними й токсичними середовищами, перед включенням їх в роботу після проведення ремонтів і оглядів з розкриттям або розбиранням, повинні піддаватися випробуванню на щільність (герметичність).

Знову змонтовані або такі, що пройшли ремонти із застосуванням зварювання посудини і трубопроводи до пневматичного випробування на щільність мають бути випробувані на міцність.

При випробуванні на щільність агрегати мають бути заздалегідь від'єднані від решти апаратів і трубопроводів тих, що не вимагають перевірки, а також що

вимагають перевірки на щільність, але при іншому випробувальному тиску. Відключення виконується шляхом закриття запорної арматури і установки заглушок.

Випробування на щільність виконується повітрям або іншим інертним газом тиском, рівним дозволеному робочому тиску, для агрегатів з робочим тиском від 0,1 (1) кг /см² до 32 МПа (320 кг/см²).

Величина випробувального тиску на щільність для агрегатів низького тиску (до 0,1 МПа (кг/см²)) повинна прийматися (табл. 8.5):

Таблиця 8.5 – Величина випробувального тиску на щільність для агрегатів низького тиску (до 0,1 МПа (кг/см²))

Робочий тиск, МПа	Випробувальний тиск на щільність, МПа
до 0, 005	0, 02
від 0, 0051 до 0, 05	$P_{роб.} + 0, 03$
понад 0, 051 до 0, 1	$P_{роб.}$, але не менше 0, 085

Агрегати, що працюють під вакуумом, а також газопроводи скидання газів на факел випробовуються на щільність (герметичність) тиском 0, 1 МПа.

Агрегати, призначені для роботи з вибухо- і пожежонебезпечними середовищами, допускається випробовувати повітрям лише в тому випадку, якщо вони не були в роботі, або перед випробуванням були повністю очищені і лабораторним аналізом встановлена безпека середовища в судинах і трубопроводах.

Заповнення агрегату повітрям або інертним газом проводиться за допомогою спеціального компресора або від мережі підприємства. Якщо тиск у мережі може перевищити випробувальний тиск в агрегаті, то на трубопроводі, що підводить, має бути встановлений редукційний клапан, відрегульований на випробувальний тиск, а також запобіжний клапан, відрегульований на відкриття при тиску, що перевищує випробувальне на 2-3 %.

Тиск в агрегаті повинен підвищуватися плавно і із зупинками для перевірки на відсутність пропусків при проміжному тиску.

Час підвищення тиску повинен складати:

- до 0,1 МПа (1,0 кгс/см²) - 20 хвилин;
- від 0,1 МПа (1,0 кгс/см²) до 1,0 МПа (10,0 кгс/см²) - 90 хвилин;
- від 1,0 МПа (10 кгс/см²) до 10,0 МПа (100 кгс/см²) - 90 хвилин;
- від 10 МПа (100 кгс/см²) до 20,0 МПа (200 кгс/см²) - 30 хвилин.

Виявлення місць витоків проводиться шляхом омилювання мильним розчином зварних швів, сальників арматури і роз'ємних з'єднань, або за допомогою галоїдного течешукача.

При виявленні пропусків тиск має бути скинутий, після чого пропуски усунути. Усунення дефектів і підтяжка кріпильних з'єднань на апаратах, що знаходяться під тиском, забороняється. Після усунення дефектів випробування проводиться повторно.

При пневматичному випробуванні на щільність (герметичність) забороняється обстукування або які-небудь удари по корпусу апарату (трубопроводу), що знаходиться під тиском.

При досягненні у випробовуваному агрегаті робочого тиску подачу стислого повітря або інертного газу припиняють, трубопровід відключають заглушкою і, після вирівнювання температур усередині й зовні, спостерігають за падінням тиску в агрегаті.

При пневматичному випробуванні агрегатів, що піддаються капітальному ремонту або технічному огляду, необхідно спостерігати за падінням тиску в течію не менш 4 годин і не менш 24 годин - для знов встановлюваних.

Результати випробування на герметичність вважаються як задовільні, якщо падіння тиску за 1 годину не перевищує 0,1 % при токсичних, 40,2 % при пожежо- і вибухонебезпечних середовищах для зовнішніх агрегатів і 0,05 % припливних, і 0,1 % при пожежо- і вибухонебезпечних середовищах для агрегатів, розташованих у приміщенні.

Результати випробувань з указівкою початкового і кінцевого тиску, температур і тривалості випробування заносяться в ремонтний журнал, і складається спеціальний акт.

9 Промислова екологія

Однією з найбільш актуальних проблем, які хвилюють сьогодні людство, стала проблема охорони природи, раціонального використання природних багатств. У нашій країні охорона навколишнього середовища й раціонального використання природних ресурсів завжди належала до найважливіших політичних, економічних, соціальних завдань. Особлива відповідальність у справі охорони навколишнього середовища лягає на сучасні інженерно-технічні кадри. Вони повинні використовувати сучасну техніку і нову технологію виробництва з урахуванням збереження навколишнього середовища, повного комплексного використання неживої природи і забезпечення розширення відтворення ресурсів живої природи.

В табл. 9.1, 9.2 наведено характеристики викидів в атмосферу та рідких відходів, що утворюються при виробництві оцтової кислоти.

Таблиця 9.1 - Викиди в атмосферу

Найменування викиду і шкідливої речовини в ньому, відділення, апарат	Характеристика викиду		Допустима масова витрата нормативних компонентів шкідливих речовин, які викидаються в атмосферу, кг/год.	Сумарний викид, кг/рік
	Склад викиду	Об'єм, %		
1	2	3	4	5
Димові гази печі риформінгу (ВА-2101), D=2.6м, H=53,3м	Оксид вуглецю, мг/м ³	Не більше 20	1,404	11236
	Оксид азоту, мг/м ³	Не більше 20	1,404	10559
	Сірчистий ангідрид, мг/м ³	Не більше 12	0,828	6493
Димові гази від факельної установки GB-	Оксид вуглецю, г/м ³	Не більше 2,691	144,04 (роз-во)	92887,88 (роз-во)
	Оксид азоту,	Не більше	21,61 (роз-во)	3933,12

1	2	3	4	5
2301, D=0.356м, H=24,2м	г/м ³ Вуглеводні, г/м ³	2,691 Не більше 0,0083	0,155 (роз-во)	(роз-во) 1173,76 (роз-во)
Що утворюються при спалюванні регенеруючого газу і надлишку оксиду вуглецю від стадії газорозділу	Оксид вуглецю, г/м ³ Оксид азоту, г/м ³ Вуглеводні, г/м ³	Не більше 0,473 Не більше 0,071 Не більше 0,0083	8,154 (роз-во) 1,223 (роз-во) 0,143 (роз-во)	65232 (роз- во) 9784 (роз- во) 1144 роз-во)
Що утворюються при спалюванні некондиційних газів після печі риформінга в період пусків і зупинок	Оксид вуглецю, г/м ³ Оксид азоту, г/м ³ Вуглеводні, г/м ³	Не більше 2,691 Не більше 0,0404 Не більше 0,0029	144,04 (роз- во) 21,6 (роз-во) 0,155 (роз-во)	27655,88 (роз-во) 4149,12 (роз-во) 29,76 (роз- во)
Вентиляційні викиди з приміщення компресії, D=0.7 5м, H=32,3м	Оксид вуглецю, мг/м ³	Не більше 20	0,7632	2643
Вентиляційні викиди з приміщення аналізатора факелів, D=0.25 м, H=8м	Оксид вуглецю, мг/м ³	Не більше 20	0,0252	10,0
Викид з воздушки маслобака FA- 2525, D=0.2м, H=17,5м	Оксид вуглецю, мг/м ³	Не більше 30,2	8,456	66642
Викиди з воздушки дегазатора FA- 2546, D=0.15м, H=17,5м	Оксид вуглецю, мг/м ³	Не більше 13,1	1,573	11695

Таблиця 9.2 – Рідкі відходи

Найменування стоку і шкідливої речовини в нім, відділення, апарат	Кількість викидів, м ³ /т	Характеристика стоку
Промислово-забруднені води цеху із збірки станції перекачування стоків АД-1517	1,8667	Хімічна потреба кисню (ХПК)
Промартезіанська вода після охолодження масла маслосистеми турбодетандера ЕТ-01 в літній період	0,3352	Не визначається
Вода від скрубєрів НВ-1502А, НВ-1502В, НВ-1503, НВ-1204	0,16	Не визначається
Вода від сепаратора факела FA-1510	0,08	Не визначається
Паровий конденсат після пускового підігрівача ЕА-1102, розбавлений оборотною водою для охолодження	0,1333 в т. ч. 0,1 оборотна вода	Не визначається
Паровий конденсат від сорочок реакторів ДС-1401, ДС-1402 і зміювика реактора ДС-1403 стадії «400», розбавлений оборотною водою	0,0089 в т. ч. 0,0067 оборотна вода	Не визначається
Конденсат від парових турбін	0,08	Не визначається
Промливневі води цеху, всього - зокрема:	1,2133	Не визначається
Паровий конденсат від сальникових витоків турбіни компресора початкового газу GB-2202, розбавлений оборотною водою для охолодження	0,2133 в т.ч. оборотна вода	Не визначається

Газоподібні відходи не використовуються, викидаються в атмосферу без очищення.

Рідкі відходи зливаються у стічній колодязь.

Тверді відходи складуються на площадці химвідходів цеху і далі вивозяться автомашиною (насіпом) у накопичувач твердих відходів с. Фугаровка.

9.1 Характеристика газоподібних забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу від базового об'єкта

Серед хімічних сполук, що викидають в атмосферу, утримується досить

велика кількість речовин, що є отруйними, або таких, щодо яких існує підозра про їхню отруйність.

Метанол CH_4OH – безбарвна, прозора, горюча, легкозаймиста рідина. Температура samozapalювання чистого метанолу (464°C) і температура спалаху (8°C) у міру розведення водою зростають відповідно підвищенню концентрації води. Метанол є сильною отрутою, має високу токсичність, діє переважно на нервову й судинну системи. Пари метанолу діють на слизисті оболонки дихальних шляхів і очей. Отруєння метанолом можливо через органи подиху, через шкіру й особливо при прийомі його усередину. Гранично припустима концентрація пар метанолу в повітрі робочої зони 5 мг/м^3 . Невелика кількість метанолу (5-10мл), прийняте усередину, викликає важке отруєння, що веде до сліпоті; більші дози можуть привести до смерті.

Метанол відноситься до 1 класу вуглеводнів з низькою реакційною здатністю. Видалення вуглеводнів з атмосфери необхідно в основному тому, що вони являють собою проміжні продукти процесів утворення окислювачів, що беруть участь у фотохімічних реакціях, наприклад озону.

9.2 Шкідливий вплив промислових викидів на здоров'я людини

Шкідливі впливи газоподібних і пилових промислових викидів на людину залежать як від кількості забруднюючих речовин, що надходять в організм, так і від їхньої концентрації. Вплив концентрації нетоксичних пилів є неявним, але надзвичайно небезпечно у випадку токсичного пилу й газів.

Метанол є сильною отрутою, має високу токсичність, діє переважно на нервову й судинну системи. Пари метанолу діють на слизисті оболонки дихальних шляхів і очей. Отруєння метанолом можливо через органи дихання, через шкіру й особливо при прийомі його усередину. Гранично припустима концентрація пар метанолу в повітрі робочої зони 5 мг/м^3 . Невелика кількість метанолу (5-10 моль), прийняте усередину, викликає важке отруєння, що веде до сліпоті; більші дози можуть привести до смерті.

Ознаками хронічного отруєння є запаморочення, мерехтіння в очах, головний біль, безсоння, підвищена стомлюваність і минаюче порушення зору.

Отруєння може розвиватися поступово протягом декількох днів і виражатися в захворюваннях дихальних шляхів, невритах, головних болях, розладі зору.

9.3 Вплив на тваринний світ

Вплив забруднюючих речовин промислових викидів на тварин може бути як безпосереднім, так і непрямим. Звичайно безпосередній вплив шкідливих речовин з атмосфери, сприйманих організмом шляхом прямого контакту або при вдиханні, не приводить до серйозних ушкоджень, оскільки кількості поглинених забруднюючих речовин, незалежно від того, гази це або пилові частки, порівняно невелика. Набагато серйозніше вторинний, непрямий вплив, оскільки тварини при цьому одержують забруднюючі речовини з кормом.

9.4 Вплив промислових викидів на ґрунт і рослинний світ

Забруднюючі речовини негативно впливають на сільськогосподарські рослини: безпосередньо - за рахунок поглинання забруднень із повітря зеленою масою, а також побічно – шляхом інтоксикації ґрунту, звідки рослини через кореневу систему отримують шкідливі речовини. Хоча вплив може бути й гострим, найчастіше відбувається хронічне ушкодження внаслідок тривалої дії малих концентрацій забруднень.

Максимально припустима разова концентрація метанолу, що впливає на фотосинтез різних видів деревних рослин, становить $0,1 \text{ мг/м}^3$. При більш високих показниках на протязі однієї години з'являються симптоми поразки листяного покриву, кори; вище 6 м – засихання й загибель рослин.

Забруднюючі речовини негативно впливають на сільськогосподарські рослини: безпосередньо - за рахунок поглинання забруднень із повітря зеленою масою, а також побічно – шляхом інтоксикації ґрунту, звідки рослини через кореневу систему одержують шкідливі речовини. Хоча вплив може бути й гострим, найчастіше відбувається хронічне ушкодження внаслідок тривалої дії малих концентрацій забруднень.

ВИСНОВКИ

В ході роботи була спроектована і реалізована технологія, що забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик апаратів синтезу оцтової кислоти за умови зменшення собівартості їх виготовлення.

У першому розділі виконано аналіз методів отримання оцтової кислоти, а також розглянуто апаратурне оформлення реакційних процесів в системі газ-рідина. На основі аналізу зроблено висновок, що оптимальним є метод карбонізації метанолу. Тобто синтез оцтової кислоти здійснюється з метанолу і окислу вуглецю у присутності каталізатора – солей родію і промотора – йодистого метилу і йодистого водню.

Крім того, для виробництва оцтової кислоти, а також з метою забезпечення активного гідродинамічного стану має сенс застосувати в даному конкретному випадку турбінну мішалку відкритого типу.

У другому розділі виконано обґрунтування обраного методу здобуття оцтової кислоти й устаткування, описано технологічну схему синтезу, характеристики сировини і готового продукту, а також проведено тепловий розрахунок реактора синтезу та складено матеріальний баланс виробництва.

Реактор синтезу є вертикальним циліндровим апаратом, що складається з циліндрової обичайки і двох еліптичних днищ. Забезпечений перемішуючим пристроєм для забезпечення ретельного перемішування всіх потоків що надходять у реактор. У нижній частині реактора встановлено барботаже кільце, яке забезпечує швидке розчинення оксиду вуглецю реакційної рідини. Реактор забезпечений рядом технологічних штуцерів і люком.

У третьому, четвертому, п'ятому і шостому розділах описано конструкцію, принцип роботи та технологія виготовлення реактора синтезу оцтової кислоти, обрано основні конструкційні матеріалів для його виготовлення та проведено розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість апарату.

Матеріал для виготовлення корпусу апарату обрано з урахуванням властивостей робочого середовища в апараті, тиску і температури. Таким чином,

корпус апарату, патрубки штуцерів, трубопровідні фланці, кріпильні вироби всередині апарату слід виготовляти з біметалу Ст3сп5 + Н70м27ф.

У цьому розділі розглянуто основні заходи при ремонті і монтажі запропонованого в роботі устаткування.

В останніх розділах розглянуто вимоги охорони праці й техніки безпеки при виробництві оцтової кислоти та питання промислової екології.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Фролов Г.М., Шабуров М.А. Производство уксусной кислоты. - М.: Лесная промышленность, 1978. - 240 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1971. - 784 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1987. - 576 с.
4. Химическое и нефтяное машиностроение. 1971. - № 3.
5. Білявський Г.О Основи екології. Підручник. - К.: Либідь, 2004. - 408 с.
6. Макаров Г.В., Стрельчук Н.А. Охрана труда в химической промышленности. - М.: Химия, 1977. - 568 с.
7. Атаманчук В.Г. Гражданская оборона. - М.: Высшая школа, 1987. - 288 с.
8. Чернобыльский И.И. Машины и аппараты химических производств. - М.: Машиностроение, 1975. - 448 с.
9. Гусев Ю.И, Карасев И.Н. Конструирование и расчёт машин химических производств. - М.: Машиностроение, 1985. - 408 с.
11. Смирнов Г.Г., Толчинский А.Р., Кондратьева Конструирование безопасных апапаратов для химических и нефтехимических производств. - Л.: Машиностроение, 1988. - 303 с.
12. Вихман Г.Л., Круглов С.А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. - М.: Машиностроение, 1978. - 328 с.
13. Поплавский Ю.В. Технология химического аппаратостроения. - М.: МАШГИЗ, 1961. - 286 с.
14. Фарамазов С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. - М.: Химия, 1980. - 312 с.
15. Ермаков В.И., Шеин В.С. Технология ремонта химического оборудования. - Л.: Химия, 1977. - 280 с.
16. Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчётные диаграммы и номограммы по курсу „Процессы и аппараты химической промышленности”. - Л.: Химия, 1985. - 56 с.
17. Голубятников В.А, Шувалов В.В Автоматизация производственных

процессов в химической промышленности. - М.: Химия, 1985. - 352 с.

18. Рахмилевич З.З., Радзин И.М., Фарамазов Справочник механика химических и нефтехимических производств. - М.: Химия, 1985. - 592 с.

19. Лазинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры. Справочник. - Л.: Машиностроение, 1970. - 752 с.

20. Валы вертикальные аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчета РДТМ 26-01-72-82.

21. Бесков С. Д. Технохимические расчеты. – М.: Высшая школа, 1966. – 520 с.

22. Брагинский Л. Н., Бегаев В. И., Барабаш В. М. Перемешивание в жидких средах. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.

23. Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. – Химия, 1975. – 384 с.

24. Лазарев Н.В., Левина Э.Н. Вредные вещества в промышленности. - Л.: Химия, 1976. - 592 с.

25. ГОСТ 23759.1-90 Фланцы сосудов и аппаратов и прокладки к ним. Конструкция и размеры. Технические требования. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 16 с.

26. ГОСТ 23759.2-90 Фланцы сосудов и аппаратов и прокладки к ним. Конструкция и размеры. Технические требования. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 25 с.

27. ГОСТ 23759.6-90 Фланцы сосудов и аппаратов и прокладки к ним. Конструкция и размеры. Технические требования. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 31 с.

28. ГОСТ 26202-84 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 35 с.

29. ГОСТ 26296-84 Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. Основные размеры. - М.: Изд-во стандартов, 1984. - 8 с.

30. ГОСТ 12815-80 Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов. -М.: Изд-во стандартов, 1989. - 111 с.

31. ГОСТ 15180-86 Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры. - М.: Изд-во стандартов, 1987. - 20 с.
32. ДСТУ 3-17-194-2000 Пристрої для встановлення приладів вимірювання температури на сталених посудинах та апаратах.
33. ОСТ 26-01-1156-75 Вводы-выводы труб стальных сварных сосудов и аппаратов.
34. Методические указания к расчёту цилиндрических обечаек стальных сварных сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220./ Сост. А.И. Барвин, И.М. Генкина, В.В. Иванченко, В.Г. Табунщиков, Г.В. Тараненко, Ю.Н. Штонда. - Северодонецк: СТИ, 2002. - 83 с.
35. Расчёт выпуклых и плоских днищ и крышек, конических обечаек, днищ и переходов стальных сварных сосудов и аппаратов. Методика и примеры расчёта./ Сост. А.И. Барвин, И.М. Генкина, В.В. Иванченко, В.Г. Табунщиков, Г.В. Тараненко, Ю.Н. Штонда. - Северодонецк: СТИ, 2003. - 112 с.
36. Методические указания к расчёту на прочность укрепления отверстий в обечайках, переходах и выпуклых днищах стальных сварных сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220./ Сост. А.И. Барвин и др. - Северодонецк: СТИ, 1999. - 24 с.
37. Методические указания к расчёту на прочность и герметичность фланцевых соединений сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220./ Сост. А.И. Барвин и др. - Северодонецк: СТИ, 2002. - 36 с.
38. Методические указания к оформлению курсовых и дипломных проектов для студентов специальности 7.090220./ Сост. В.В. Иванченко и др. - Северодонецк: СТИ, 2003. - 39 с.
39. Методические указания к выполнению дипломных проектов для студентов специальности 7.090220./ Сост. В.В. Иванченко и др. - Северодонецк: СТИ, 2003. - 16 с.
40. Методические указания к расчёту тепловой изоляции трубопроводов и оборудования для студентов специальности 7.090220./ Сост. Ю.Н. Штонда и др. - Северодонецк: СТИ, 2002. - 40 с.
41. Методические указания к выбору конструкционных материалов для

стальных сварных сосудов и аппаратов для студентов специальности 7.090220./ Сост. А.И. Барвин и др. - Северодонецк: СТИ, 2003. - 51 с.

42. Методичні вказівки до виконання розділу дипломного проекту „Цивільна оборона” для студентів всіх форм навчання./ Скл. О.Г. Максименко та ін. - Северодонецьк: СТІ, 2000. - 30 с.

43. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в дипломних проектах для студентів спеціальності 7.090220./ Скл. В.Т. Мякухіна, В.П. Єрешко. - Северодонецьк: СТІ, 2003. - 26 с.

44. Методические указания по монтажу аппаратов колонного типа для студентов специальности 7.090220./ Сост. А.И. Барвин, В.Г. Табунщиков, В.В. Иванченко, Ю.Н. Штонда. - Северодонецк: СТИ, 2002. - 30 с.

45. Методические указания к выполнению раздела „Промышленная экология” дипломной работы для студентов специальности 7.090220./ Сост. А.Д. Тюльпинов, А.В. Суворин. - Северодонецк: СТИ, 2004. - 30 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічні вимоги до отримуваних продуктів

Кислота оцтова синтетична

Синтетична оцтова кислота за фізико-хімічними показниками повинна відповідати вимогам і нормам, вказаним у ГОСТ 19814-74 зі змінами № 1, 2 «Кислота оцтова синтетична і регенована сорт 1» (табл. А.1):

Таблиця А.1 – Характеристика синтетичної оцтової кислоти

1	Зовнішній вигляд і колір	безбарвна, прозора рідина без механічних домішок
2	Розчинність у воді	повна, розчин прозорий
3	Масова частка оцтової кислоти %, не менше	99,5
4	Масова частка оцтового альдегіду %, не більше	0,004
5	Масова частка мурашиної кислоти %, не більше	0,05
6	Масова частка сульфатів (SO ₄) %, не більше	0,0003
7	Масова частка хлоридів (Cl) %, не більше	0,0004
8	Масова частка важких металів, що осаджують сірководнем (Pb), %, не більше	0,0004
9	Масова частка заліза (Fe) %, не більше	0,0004
10	Масова частка нелеткого залишку %, не більше	0,004
11	Стійкість забарвлення розчину марганцевокислого калію, хв., не менше	60
12	Масова частка речовин, окислюваних двохромовокислим калієм, см ³ розчину тіосульфату натрію концентрація з(Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O)=0,1 моль/дм ³ (0,1 н.), не більше	5,0
13	Проба з сірчаною кислотою	забарвлення розчину не інтенсивніше за забарвлення розчину порівняння

Кислота оцтова синтетична харчова

Синтетична харчова оцтова кислота за своїми фізико-хімічними показниками повинна відповідати вимогам і нормам, вказаним в ТУ У6-05761672-130-94 зі змінами №1,2,3,4 «Кислота оцтова синтетична харчова» (табл. А.2):

Таблиця А.2 – Характеристика синтетичної харчової оцтової кислоти

1	Зовнішній вигляд і колір	Безбарвна прозора рідина без механічних домішок
2	Запах і смак	Кислий, характерний для оцтової кислоти, без стороннього запаху і смаку
3	Розчинність у воді	Повна, розчин прозорий
4	Масова частка оцтової кислоти %, не менше	99,7
5	Масова частка оцтового альдегіду %, не більше	0,004
6	Масова частка мурашиної кислоти %, не більше	0,05
7	Масова частка сульфатів (SO ₄) %, не більше	0,0003
8	Масова частка хлоридів (Cl) %, не більше	0,0001
9	Масова частка важких металів, що осаджують сірководнем (Рв) %, не більше	0,00008
10	Масова частка заліза %, не більше	0,0001
11	Масова частка нелеткого залишку %, не більше	0,002
12	Масова частка родію %, не більше	0,00005
13	Масова частка йодистого метилу %, не більше	0,00002
14	Масова частка миш'яку %, не більше	0,00007
15	Стійкість забарвлення розчину марганцевокислого калію, хв, не менше	60
16	Масова частка речовин, окислюваних двохромовокислим калієм, см розчину тіосульфату натрію концентрацією (з(Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O)= 0,1 моль/дм ³ (0,1 м)), не більше	5,0
17	Проба з сірчаною кислотою	забарвлення розчину не інтенсивніше за забарвлення розчину порівняння

Водень

Водень - побічний продукт виробництва оцтової кислоти є сировиною для цехів підприємства: 1-А, 1-Б, СМ і ПЮК.

За фізико-хімічними показниками водень очищений повинен відповідати вимогам (табл. А.3):

Таблиця А.3 – Вимоги до очищеного водню

1	Об'ємна частка водню. %, не менше	97,5
2	Об'ємна частка оксиду вуглецю %, не більше	0,2
3	Об'ємна частка метану %, не більш	2,0
4	Об'ємна частка азоту %	останнє

Конденсат паровий

Конденсат паровий утворюється після використання пари, видається як побічний продукт у цех хімічної підготовки води і повинен відповідати вимогам СТД 6-52-96 «Конденсат паровий» (табл. А.4):

Таблиця А.4 – Вимоги до парового конденсату

1	Молярна концентрація еквівалента жорсткості, мкмоль/дм ³ , не більше	15,0
2	Масова концентрація хлорид-іонів мг/дм ³ , не більше	2,0
3	Масова концентрація кремнієвої кислоти H ₂ SiO ₃ мг/дм ³ , не більше	0,15
4	Масова концентрація заліза, мг/дм ³ , не більше	0,3
5	pH- середовища, в межах	від 7,0 до 9,2
6	Масова концентрація загального аміаку мг/дм ³ , не більше	1,5
7	Окисненість мг O ₂ /дм ³ , не більше	1,5
8	Солевміст, мг/дм ³ , не більше	15

Скидний газ

Скидний газ - побічний продукт виробництва оцтової кислоти є сировиною для цеху СМ.

За фізико-хімічними показниками скидний газ повинен відповідати вимогам (табл. А.5):

Таблиця А.5 – Вимоги до скидного газу

1	Об'ємна частка водню %	від 9 до 15
2	Об'ємна частка оксиду вуглецю %	від 65 до 85
3	Об'ємна частка азоту %, не більше	15
4	Об'ємна частка діоксиду вуглецю %, не більше	6
5	Масова концентрація оцтової кислоти, мг/м ³ , не більше	250

Основним видом сировини для отримання оцтової кислоти є метанол і оксид вуглецю. Оксид вуглецю отримують з природного газу і діоксиду вуглецю.

Метанол – прозора безбарвна рідина, легкозаймиста.

Молекулярна маса 32,04.

Щільність метанолу 791 кг/м³.

Добре розчинний у воді.

Температура самозаймання 440 градусів.

Верхня межа вибуховості 6,98 % об'ємн. г/м³ при 20⁰С, нижній 35,9 % об'ємн. г/м³ при 20⁰С.

Клас пожежонебезпечності III.

Оксид вуглецю безбарвний газ без запаху і смаку.

Фізико-хімічні властивості продуктів виробництва оцтової кислоти наведено у табл. А.6.

Технічні вимоги, які пред'являються до сировини, наведені в таблиці А.7.

Таблиця А.6 - Фізико-хімічні властивості продуктів

Назва властивості (константа) і одиниці	Значення фізичної величини з граничним відхиленням	Джерело інформації
<u>Кислота оцтова</u>		Довідник хіміка, Хімія», 1962
Зовнішній вигляд і агрегатний стан при 20 °С	безбарвна прозора рідина	
Структурна формула	CH ₃ COOH	
Відносна молекулярна маса	60,05	
Густина кг/м ³ - при 0 °С - при 15 °С	1070 1049	
Відносна густина пари за повітрям	2,1	
Розчинність: - у воді - у спирті і ефірі	змішується в будь-яких співвідношеннях хороша	
Запах	різкий специфічний	
Температура кристалізації °С	16,7	
Температура кипіння °С	118,1	
Теплоємність при 0 °С, Дж/кг · град	2039	
Водень		Довідник азотника, том І, видавництво «Хімія», 1967г.
Зовнішній вигляд і агрегатний стан при 20 °С	безбарвний газ	
Відносна молекулярна маса	2,016	
Густина, кг/м ³	0,0899	
Температура плавління °С	мінус 259,2	
Температура кипіння °С	мінус 252,77	
Теплоємність при 20 °С (при постійному тиску), Дж/кг·град	14,3	

Таблиця А.7 – Технічні вимоги, які пред'являються до сировини

Найменування сировини	Показники, обов'язкові для перевірки (найменування і одиниця)	Регламентовані значення показників з допустимими відхиленнями
1. Природний газ	Об'ємна частка %: метану азоту Масова концентрація, мг/м ³ : сірчистих сполук у перерахунку на сірку Нижча теплотворна здатність, кДж/м ³ (ккал/м ³)	Не менше 94 Не більше 2,5 Не більше 45 36450 (8700)
2. Діоксид вуглецю	Об'ємна частка %: діоксиду вуглецю пальним інертів Масова концентрація, мг/м ³ моноетаноламіну	Не менше 97,0 Не більше 1,9 Не більше 0,7 Не більше 1,5
3 Метанол	Зовнішній вигляд Густина при 20 °С, г/см ³ Змішується з водою Температурні межі °С межа кипіння 99 % продукту переганяються в межах	Безбарвна прозора рідина без нерозчинних домішок від 0,791 до 0,792 Без слідів помутніння і опалесценції От 64 до 65,5 Не більше 0,8
4 Оксид вуглецю	Об'ємна частка % оксиду вуглецю водню метану азоту	Не менше 94 Не більше 1,3 Не більше 0,2 Інше

Додаток Б

Розрахунок елементів устаткування

Б.1 Розрахунок зміцнення отворів

Б.1.1 Розрахунковий діаметр одиночного отвору, що не вимагає зміцнення, за наявності надлишкової товщини стінки посудини.

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S - C}{S_p} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)}, \quad (\text{Б.1})$$

де S_p - розрахункова товщина укріплюваного елемента, мм;

S - виконавча товщина укріплюваного елемента, мм;

C - сума надбавок до розрахункової товщини, мм;

D_p - розрахунковий діаметр укріплюваного елемента, мм.

Для циліндрової обичайки корпусу $D_p = D = 3000$ мм.

Розрахункова товщина в місці розташування штуцера А:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{4 \cdot \sigma \cdot \phi - P} \quad S_p := \frac{3.21 \cdot 3000}{4 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_p = 17.95 \text{ мм}$$

$$d_0 := 2 \cdot \left(\frac{38 - 1.8}{17.95} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{3000 \cdot (38 - 1.8)} \quad d_0 = 801.92 \text{ мм}$$

Для верхнього еліптичного днища:

$$D_p = 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D} \right)^2}, \quad (\text{Б.2})$$

де x - відстань від центру укріплюваного отвору до осі еліптичного днища, мм;

Для штуцерів Е, Ж, Л, М при $x = 1200$ мм.

$$D_p := 2 \cdot 3000 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{1200}{3000} \right)^2} \quad D_p = 4.33 \times 10^3 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина еліптичного днища в місці розташування штуцерів:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{4 \cdot \sigma \cdot \phi - P} \quad S_p := \frac{3.21 \cdot 4330}{4 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_p = 25.9 \text{ мм}$$

$$d_o := 2 \cdot \left(\frac{38 - 1.8}{25.9} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} \quad d_o = 473.26 \text{ мм}$$

Для люка I при $x = 1000$ мм:

$$D_p := 2 \cdot 3000 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{1000}{3000} \right)^2} \quad D_p = 4.9 \times 10^3 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина еліптичного днища в місці розташування люка:

$$S_p := \frac{3.21 \cdot 4900}{4 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_p = 29.31 \text{ мм}$$

$$d_o := 2 \cdot \left(\frac{38 - 1.8}{29.31} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{4900 \cdot (38 - 1.8)} \quad d_o = 366.5 \text{ мм}$$

Для нижнього еліптичного днища

Розрахунковий діаметр зміцнення отворів визначається по формулі

$$D_p = 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D} \right)^2} \quad (\text{Б.3})$$

Для штуцерів Б, В, Л при $x = 1200$ мм:

$$D_p := 2 \cdot 3000 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{1200}{3000} \right)^2} \quad D_p = 4.33 \times 10^3 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина еліптичного днища в місці розташування штуцерів:

$$S_p := \frac{3.21 \cdot 4330}{4 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_p = 25.9 \text{ мм}$$

$$d_o := 2 \cdot \left(\frac{38 - 1.8}{25.9} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} \quad d_o = 473.26 \text{ мм}$$

Для штуцера К при $x = 1000$ мм:

$$D_p := 2 \cdot 3000 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{1000}{3000} \right)^2} \quad D_p = 4.9 \times 10^3 \text{ мм}$$

Розрахункова товщина еліптичного днища в місці розташування штуцера:

$$S_p := \frac{3.21 \cdot 4900}{4 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_p = 29.31 \text{ мм}$$

$$d_o := 2 \cdot \left(\frac{38 - 1.8}{29.31} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{4900 \cdot (38 - 1.8)} \quad d_o = 366.5 \quad \text{мм}$$

Для штуцера Г, Д при $x = 500$ мм:

$$D_p := 2 \cdot 3000 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{500}{3000} \right)^2} \quad D_p = 5.74 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Розрахункова товщина еліптичного днища в місці розташування штуцера:

$$S_p := \frac{3.21 \cdot 5740}{4 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_p = 34.34 \quad \text{мм}$$

$$d_o := 2 \cdot \left(\frac{38 - 1.8}{34.34} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{5740 \cdot (38 - 1.8)} \quad d_o = 231.7 \quad \text{мм}$$

Б.1.2 Перевірка необхідності зміцнення отворів

Отвір не вимагає зміцнення, якщо виконується умова $d_p \leq d_o$,

де d_p - розрахунковий діаметр отвору.

Для штуцера введення оксиду вуглецю А ($d_y = 100$ мм) розташованого на циліндровій обичайці, вісь якого збігається з нормаллю до поверхні, розрахунковий діаметр:

$$d_p = d + 2C_s, \quad (\text{Б.4})$$

де d - внутрішній діаметр штуцера, мм;

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

Для штуцера А прийнята труба із сталі СтЗсп5 $\varnothing 1084$

Розрахункова товщина стінки штуцера; $d = d_y$; $C_s = C1$.

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (100 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 1.23 \quad \text{мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 4 \quad C_s = 1.6 \quad \text{мм}$$

$$S_1 := 1.23 + 1.6 \quad S_1 = 2.8 \quad \text{мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p := 100 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 4) \quad d_p = 103.2 \quad \text{мм}$$

Штуцер А не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$103,2 < 801,92 \text{ мм.}$$

Для штуцерів Л і Ж ($d_y = 50$ мм), розташованих на верхньому еліптичному дніщі, прийнята труба $\varnothing 573$ мм.

Розрахункова товщина стінки штуцера:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (50 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 0.63 \quad \text{мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 3 \quad C_s = 1.45 \quad \text{мм}$$

$$S_1 := 0.63 + 1.45 \quad S_1 = 2.1 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{50 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 3)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 1200}{4330}\right)^2}} \quad d_p = 63.6 \quad \text{мм}$$

Штуцера Л і Ж не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$63,3 < 473,26 \text{ мм.}$$

Для штуцера М ($d_y = 100$ мм), розташованого на еліптичній частині сорочки, прийнята труба $\varnothing 1084$ мм.

Розрахункова товщина стінки штуцера:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (100 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 1.23 \quad \text{мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 4 \quad C_s = 1.6 \quad \text{мм}$$

$$S_1 := 1.23 + 1.6 \quad S_1 = 2.8 \quad \text{мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{100 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 4)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 1200}{4330}\right)^2}} \quad d_p = 124 \text{ мм}$$

Штуцер М не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$124 < 473,26 \text{ мм.}$$

Для штуцера Е ($d_y = 150$ мм), розташованого на верхньому еліптичному дніщі, прийнята труба $\varnothing 159,6$ мм.

Розрахункова товщина стінки штуцера:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (150 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 1.83 \text{ мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 6 \quad C_s = 1.9 \text{ мм}$$

$$S_1 := 1.83 + 1.9 \quad S_1 = 3.7 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{150 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 6)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 1200}{4330}\right)^2}} \quad d_p = 184.8 \text{ мм}$$

Штуцер Е не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$184,8 < 473,26 \text{ мм.}$$

Для штуцера Д_о ($d_y = 50$ мм), розташованого на нижньому еліптичному дніщі, прийнята труба $\varnothing 57,3$ мм.

Розрахункова товщина стінки штуцера:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (50 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 0.63 \text{ мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 3 \quad C_s = 1.45 \text{ мм}$$

$$S_1 := 0.63 + 1.45 \quad S_1 = 2.1 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{50 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 3)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 1100}{4900}\right)^2}} \quad d_p = 59.2 \quad \text{мм}$$

Штуцер Д не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$59,2 < 366,5 \text{ мм.}$$

Для штуцера В ($d_y = 100$ мм), розташованого на нижньому еліптичному днищі, прийнята труба $\varnothing 1084$ мм.

Розрахункова товщина стінки штуцера:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (100 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 1.23 \quad \text{мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 4 \quad C_s = 1.6 \quad \text{мм}$$

$$S_1 := 1.23 + 1.6 \quad S_1 = 2.8 \quad \text{мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{100 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 4)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 1200}{4330}\right)^2}} \quad d_p = 124 \quad \text{мм}$$

Штуцер В не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$124 < 473,26 \text{ мм.}$$

Для штуцера Б ($d_y = 200$ мм), розташованого на нижньому еліптичному днищі, прийнята труба $\varnothing 22010$ мм.

Розрахункова товщина стінки штуцера:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (200 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 2.43 \quad \text{мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 10 \quad C_s = 2.5 \quad \text{мм}$$

$$S_1 := 2.43 + 2.5 \quad S_1 = 4.9 \quad \text{мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{200 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 10)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 1200}{4330}\right)^2}} \quad d_p = 246.3 \text{ мм}$$

Штуцер А не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$246,3 < 473,26 \text{ мм.}$$

Для штуцера Г ($d_y = 150$ мм), розташованого на нижньому еліптичному днищі, прийнята труба $\varnothing 159,6$ мм.

Розрахункова товщина стінки штуцера:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (150 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 1.83 \text{ мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 6 \quad C_s = 1.9 \text{ мм}$$

$$S_1 := 1.83 + 1.9 \quad S_1 = 3.7 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{150 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 6)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 500}{5740}\right)^2}} \quad d_p = 156.2 \text{ мм}$$

Штуцер Г не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$156,2 < 231,7 \text{ мм.}$$

Для штуцера Д ($d_y = 100$ мм), розташованого на верхньому еліптичному днищі, прийнята труба $\varnothing 104,8$ мм.

Розрахункова товщина стінки штуцера

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (100 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 1.23 \text{ мм}$$

Виконавча товщина навантаженої частини штуцера:

$$S_1 \geq S_{1p} + C_s \quad C_s = C_{s1} + C_{s2} \quad C_s := 1 + 0.15 \cdot 4 \quad C_s = 1.6 \text{ мм}$$

$$S_1 := 1.23 + 1.6 \quad S_1 = 2.8 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{100 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 4)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 500}{5740}\right)^2}} \quad d_p = 104.8 \text{ мм}$$

Штуцер Д не вимагає зміцнення, оскільки виконується умова:

$$104,8 < 231,7 \text{ мм.}$$

Для люка I ($d_y = 500$ мм), розташованого на верхньому еліптичному днищі.

Розрахункова товщина стінки обичайки люка:

$$S_{1p} = \frac{P \cdot (d + 2 \cdot C_s)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi_1 - P} \quad S_{1p} := \frac{3.21 \cdot (500 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134.96 \cdot 1 - 3.21} \quad S_{1p} = 6.04 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{d + 2 \cdot C_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot x}{D_p}\right)^2}} \quad d_p := \frac{500 + 2 \cdot (1 + 0.15 \cdot 12)}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 1000}{4900}\right)^2}} \quad d_p = 553.8 \text{ мм}$$

Люк I вимагає зміцнення, оскільки умова не виконується

$$553,8 > 366,5 \text{ мм.}$$

Б.1.3 Розрахунок зміцнення люка

Умова зміцнення одиночного отвору:

$$l_{1p} \cdot (S_1 - S_{1p} - C_s) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot S_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (S_3 - C_s - C_{s1}) \cdot \chi_3 + l_p \cdot (S - S_p - C) \geq 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot S_p \quad (\text{Б.5})$$

Розрахункова довжина зовнішньої частини люка:

$$l_{1p} = \min \left[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot C_s) \cdot (S_1 - C_s)} \right], \quad (\text{Б.6})$$

де l_1 - висота обичайки люка над днищем.

$$l_{1p} := \min \left[200, 1.25 \cdot \sqrt{(500 + 2 \cdot 1.8) \cdot (10 - 1.8)} \right] \quad l_{1p} = 80.3 \text{ мм}$$

де l_{2p} - довжина кільця.

$$l_{2p} = \min \left[200, \sqrt{D_p \cdot (S_2 + S + C)} \right] \quad (\text{Б.7})$$

$$l_{2p} := \min \left[150, \sqrt{4900 \cdot (20 + 38 + 1.8)} \right] \quad l_{2p} = 150 \text{ мм}$$

Розрахункова довжина внутрішньої частини люка $l_{3p} = 0$.

Розрахункова ширина зони зміцнення $l_p = L_0$

$$L_0 = \sqrt{D_p \cdot (S - C)} \quad L_0 := \sqrt{4900 \cdot (38 - 1.8)} \quad L_0 = 421.2 \text{ мм}$$

Розрахунковий діаметр:

$$d_{0p} = 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} \quad d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{4900 \cdot (38 - 1.8)} \quad d_{0p} = 168.5 \text{ мм}$$

Відношення напруги, що допускається:

для зовнішньої частини люка:

$$\chi_1 = \min \left(1.0, \frac{\sigma_1}{\sigma} \right); \quad (\text{Б.8})$$

для накладного кільця:

$$\chi_2 = \min \left(1.0, \frac{\sigma_2}{\sigma} \right); \quad (\text{Б.9})$$

для внутрішньої частини люка

$$\chi_3 = \min \left(1.0, \frac{\sigma_3}{\sigma} \right). \quad (\text{Б.10})$$

Через те, що люк, накладне кільце і укріплюваний елемент (еліптичне днище) виконані з одного матеріалу, то:

$$\chi_1 = \chi_2 = \chi_3 = 1$$

Умова зміцнення люка з використанням накладного кільця:

$$80.3 \cdot (12 - 6.04 - 1.8) \cdot 1 + 150 \cdot 20 + 421.2 \cdot (12 - 6.04 - 1.8) \geq 0.5 \cdot (552.5 - 168.5) \cdot 25.31$$

$$5090 > 4860 \text{ мм}$$

Умова зміцнення виконується.

Б.2 Розрахунок взаємного впливу отворів

Б.2.1 Отвір вважається одиночним, якщо відстань між зовнішніми поверхнями сусідніх штуцерів задовольняє умові:

$$b \geq \sqrt{D'_p \cdot (S - C)} + \sqrt{D''_p \cdot (S - C)}, \quad (\text{Б.11})$$

де b - фактична відстань між зовнішніми поверхнями сусідніх штуцерів, мм;

D'_p і D''_p - розрахункові діаметри укріплюваного елемента по центрах укріплюваних отворів, мм

S - товщина укріпленого елемента, мм

C - сума надбавок до товщини укріпленого елемента.

Б.2.2 Відстань між двома сусідніми штуцерами Ж і Л на верхньому еліптичному днищі:

$$b = \sqrt{2 \cdot R^2 - 2 \cdot R^2 \cdot \cos(30 \cdot \text{deg})} - d \quad b := \sqrt{2 \cdot 1200^2 - 2 \cdot 1200^2 \cdot \cos(45 \cdot \text{deg})} - \frac{57}{2} - \frac{57}{2} \quad b = 861.4 \text{ мм}$$

Розрахункові діаметри $D'_p = D''_p = 4330$ мм.

Перевіряємо умову:

$$2 \cdot \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} = 791.8 \text{ мм}$$

Умова виконується: $861,4 > 791,8$ мм, отже, отвори є взаємовпливовими.

Б.2.3 Відстань між двома сусідніми штуцерами Е і Ж на верхньому еліптичному днищі:

$$b = \sqrt{2 \cdot R^2 - 2 \cdot R^2 \cdot \cos(45 \cdot \text{deg})} - d \quad b := \sqrt{2 \cdot 1200^2 - 2 \cdot 1200^2 \cdot \cos(50 \cdot \text{deg})} - \frac{159}{2} - \frac{57}{2} \quad b = 906.3 \text{ мм}$$

Розрахункові діаметри $D'_p = D''_p = 4330$ мм.

Перевіряємо умову:

$$2 \cdot \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} = 791.8 \text{ мм}$$

Умова не виконується: $906,3 > 791,8$ мм, отже, отвори є взаємовпливовими.

Б.2.4 Відстань між штуцером Л і люком І на верхньому еліптичному днищі:

$$b := \sqrt{1200^2 + 1000^2 - 2 \cdot 1200 \cdot 1000 \cdot \cos(65 \cdot \text{deg})} - \frac{500}{2} - \frac{57}{2} \quad b = 915.5 \text{ мм}$$

Розрахункові діаметри $D'_p = 4900$ мм.

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{4900 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} = 817.1 \text{ мм}$$

Для Л і І умова виконується: $915,5 > 817,1$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими.

Б.2.5 Відстань між штуцером М і люком І на верхньому еліптичному днищі:

$$b := \sqrt{1200^2 + 1000^2 - 2 \cdot 1200 \cdot 1000 \cdot \cos(90 \cdot \text{deg})} - \frac{500}{2} - \frac{108}{2} \quad b = 1.3 \times 10^3 \text{ мм}$$

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{4900 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} = 817.1 \text{ мм}$$

Для М і І умова виконується: $1300 > 817,1$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими.

Б.2.6 Відстань між двома сусідніми штуцерами М і Е на верхньому еліптичному днищі:

$$b = \sqrt{2 \cdot R^2 - 2 \cdot R^2 \cdot \cos(110 \cdot \text{deg})} - d \quad b := \sqrt{2 \cdot 1200^2 - 2 \cdot 1200^2 \cdot \cos(110 \cdot \text{deg})} - \frac{159}{2} - \frac{108}{2}$$

$$b = 1.8 \times 10^3 \text{ мм}$$

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} = 791.8 \text{ мм}$$

Для М і Е умова виконується: $1800 > 791,8$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими.

Б.2.7 Відстань між штуцером Д і Л на нижньому еліптичному днищі:

$$b := \sqrt{1200^2 + 500^2 - 2 \cdot 1200 \cdot 500 \cdot \cos(50 \cdot \text{deg})} - \frac{108}{2} - \frac{57}{2} \quad b = 876 \text{ мм}$$

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{5740 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} = 851.7 \text{ мм}$$

Для Д і Л умова виконується: $876 > 851,7$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими

Б.2.8 Відстань між штуцером Д і Л на нижньому еліптичному днищі:

$$b := \sqrt{1200^2 + 1100^2 - 2 \cdot 1200 \cdot 1100 \cdot \cos(45 \cdot \text{deg})} - \frac{57}{2} - \frac{57}{2} \quad b = 828 \text{ мм}$$

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{4900 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} = 817.1 \text{ мм}$$

Для Д і Л умова виконується: $876 > 851,7$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими

Б.2.9 Відстань між штуцером Д і Г на нижньому еліптичному днищі:

$$b := \sqrt{1100^2 + 500^2 - 2 \cdot 1100 \cdot 500 \cdot \cos(70 \cdot \text{deg})} - \frac{159}{2} - \frac{57}{2} \quad b = 933 \quad \text{мм}$$

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{5740 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{4900 \cdot (38 - 1.8)} = 877 \quad \text{мм}$$

Для Д і Г умова виконується: $933 > 877$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими

Б.2.10 Відстань між штуцером Б і Г на нижньому еліптичному днищі:

$$b := \sqrt{1200^2 + 500^2 - 2 \cdot 1200 \cdot 500 \cdot \cos(65 \cdot \text{deg})} - \frac{220}{2} - \frac{159}{2} \quad b = 898.1 \quad \text{мм}$$

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{5740 \cdot (38 - 1.8)} = 851.7 \quad \text{мм}$$

Для Б і Г умова виконується: $898,1 > 851,7$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими

Б.2.11 Відстань між штуцером Б і В на нижньому еліптичному днищі:

$$b = \sqrt{2 \cdot R^2 - 2 \cdot R^2 \cdot \cos(50 \cdot \text{deg})} - d \quad b := \sqrt{2 \cdot 1200^2 - 2 \cdot 1200^2 \cdot \cos(50 \cdot \text{deg})} - \frac{220}{2} - \frac{108}{2} \quad b = 850.3 \quad \text{мм}$$

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} = 791.8 \quad \text{мм}$$

Для Б і В умову виконується: $850,3 > 791,8$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими

Б.2.12 Відстань між штуцером В і Д на нижньому еліптичному днищі:

$$b := \sqrt{1200^2 + 500^2 - 2 \cdot 1200 \cdot 500 \cdot \cos(80 \cdot \text{deg})} - \frac{108}{2} - \frac{108}{2} \quad b = 1.1 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Перевіряємо умову:

$$\sqrt{4330 \cdot (38 - 1.8)} + \sqrt{5740 \cdot (38 - 1.8)} = 851.7 \quad \text{мм}$$

Для В і Д умова виконується: $1100 > 851,7$ мм, отже, отвори не є взаємовпливовими.

Б.3 Розрахунок фланцевого з'єднання люка

Б.3.1 Визначення розрахункових параметрів

Розрахунковий тиск в апараті $P := 3.21$, розрахункова температура $t := 232$, діаметр люка $D := 500$ мм, матеріал фланця Сталь Ст3сп5, матеріал прокладки - пароніт, надбавка для компенсації корозії $z = 0$, група апарату - 1.

1. По діаметру, розрахунковому тиску, температурі за ГОСТ 287591-90 приймаємо приварний фланець у стик з умовним тиском $P=4$ МПа.

2. Вибираємо поверхню ущільнювача виступ – впадина.

3. (Фланець - кришка). Приймаємо для матеріалу фланців Сталь Ст3сп5, матеріал прокладки - пароніт. Матеріал шпильок за ГОСТ 28759.5-90, по таблиці вибираємо сталь Ст3сп5.

Розрахункова температура ізольованого фланця:

$$t_{\phi} := t \quad t = 232 \text{ C},$$

Розрахункова температура шпильок:

$$t_{\sigma} := 0.97 \cdot t \quad t_{\sigma} = 225 \text{ C}$$

Напруга, що допускається, для матеріалу шпильок при розрахунковій температурі:

$$\sigma_{\sigma.200} := 142 \text{ МПа}, \quad \sigma_{\sigma.250} := 131 \text{ МПа},$$

$$\sigma := \sigma_{\sigma.250} + \frac{\sigma_{\sigma.200} - \sigma_{\sigma.250}}{50} \cdot 25 \quad \sigma = 136.5 \text{ МПа},$$

Напруга, що допускається, для матеріалу приварених у стик фланців в перерізі S_1 :

у робочих умовах:

$$\sigma_{S1} = 1.5 \cdot \sigma \quad \sigma_{S1} := 1.5 \cdot 136.5 \quad \sigma_{S1} = 204.75 \text{ МПа},$$

в умовах затягування:

$$\sigma_{S1.20} = 1.5 \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{S1.20} := 1.5 \cdot 154 \quad \sigma_{S1.20} = 231 \text{ МПа},$$

Розрахунок фланцевого з'єднання для умов випробувань не проводиться, оскільки виконується умова:

$$4,58 \text{ МПа} < 1,35 \cdot P \cdot \frac{154}{134,96} = 4,94 \text{ МПа}$$

Напруга, що допускається, для матеріалу приварних у стик фланців в перерезі S_0 :

у робочих умовах:

$$\sigma_{so} = \left(4,5 - 2 \cdot \frac{R_e}{R_m} \right) \cdot \sigma \quad \sigma_{so} := \left(4,5 - 2 \cdot \frac{206,36}{506,8} \right) \cdot 136,5 \quad \sigma_{so} = 503,09 \text{ МПа,}$$

в умовах затягування:

$$\sigma_{so.20} = \left(4,5 - 2 \cdot \frac{R_{e.20}}{R_{m.20}} \right) \cdot \sigma \quad \sigma_{so.20} := \left(4,5 - 2 \cdot \frac{250}{460} \right) \cdot 154 \quad \sigma_{so.20} = 525,61 \text{ МПа}$$

Б.3.2 Визначення допоміжних величин

Ефективна ширина плоскої прокладки

$$b_{II} := 46 \text{ мм,}$$

$$b_0 := 26 \text{ мм,}$$

Лінійна податливість неметалічної прокладки.

$$y_{II} = \frac{h_{II} \cdot K}{E_{II} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{II}} \quad (\text{Б.12})$$

де h_{II} - товщина прокладки;

K - коефіцієнт обтискання прокладки;

E_{II} - умовний модуль стискування прокладки, МПа;

$D_{сп}$ - середній діаметр прокладки, мм.

$$y_{II} := \frac{2 \cdot 0,9}{0,02 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 529 \cdot 46} \quad y_{II} = 1,178 \times 10^{-8} \text{ мм/Н,}$$

Податливість шпильок:

$$y_{III} = \frac{l_{III}}{E_{ш.20} \cdot f_{ш} \cdot n}, \quad (\text{Б.13})$$

де $l_{III} = l_{ш0} + 0,28 \cdot d_{ш}$ - розрахункова довжина шпильки, мм;

$E_{ш.20}$ - модуль подовжньої пружності матеріалу болта при температурі 20 °С;

$f_{\text{ш}}$ - площа поперечного перетину шпильки по внутрішньому діаметру різьблення;

n - кількість шпильок;

$l_{\text{шо}}$ - відстань між опорними поверхнями шпильки;

d - діаметр шпильки, мм.

$$l_{\text{ш}} := 104 + 0.28 \cdot 30 \quad l_{\text{ш}} = 112.4 \text{ мм},$$

$$y_{\text{ш}} := \frac{112.4}{199 \cdot 10^3 \cdot 520 \cdot 24} \quad y_{\text{ш}} = 4.526 \times 10^{-8} \text{ мм/Н},$$

Еквівалентна товщина плоского приварного фланця:

$$S_9 = K_1 \cdot S_0$$

$$\beta = \frac{S_1}{S_0} \quad \beta := \frac{30}{12} \quad \beta = 2.5$$

$$X = \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} \quad X := \frac{55}{\sqrt{500 \cdot 12}} \quad X = 0.71$$

$$K_1 = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{X}{X + 0.25 \cdot (1 + \beta)} \quad K_1 := 1 + (2.5 - 1) \cdot \frac{0.71}{0.71 + 0.25 \cdot (1 + 2.5)} \quad K_1 = \blacksquare$$

$$S_9 := 1.672 \cdot 12 \quad S_9 = \blacksquare \text{ мм},$$

Кутова податливість фланця:

$$Y_{\phi} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E_{20} \cdot h_{\phi}^3}, \quad (Б.14)$$

$$\omega = \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{D \cdot S_0}} \quad \lambda := \frac{55}{\sqrt{500 \cdot 12}} \quad \lambda = 0.71$$

$$\psi_1 = 1.28 \cdot \log\left(\frac{D_1 \phi}{D}\right) \quad \psi_1 := 1.28 \cdot \log\left(\frac{695}{500}\right) \quad \psi_1 = 0.183$$

$$\psi_2 = \frac{D_1 \phi + D}{D_1 \phi - D} \quad \psi_2 := \frac{695 + 500}{695 - 500} \quad \psi_2 = 6.128$$

$$j = \frac{h_\phi}{S_0} \quad j := \frac{55}{12} \quad j = 4.58$$

$$\omega := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot 0.71 \cdot (1 + 0.183 \cdot 4.58^2)} \quad \omega = 0.244$$

$$\text{де } Y_\phi := \frac{[1 - 0.244 \cdot (1 + 0.9 \cdot 0.71)] \cdot 6.128}{199 \cdot 10^3 \cdot 55^3} \quad Y_\phi = 1.111 \times 10^{-10} \text{ мм/Н,}$$

Кутова податливість плоскої кришки:

$$y_{кр} = \frac{X_{кр}}{E_{кр} \cdot 20 \cdot h_{кр}^3} \quad (Б.15)$$

$$X_{кр} = \frac{0.67 \cdot (K_{кр}^2 \cdot 1 + 8.55 \cdot \log(K_{кр}) - 1)}{(K_{кр} - 1) \cdot \left[K_{кр}^2 - 1 + (1.857 \cdot K_{кр}^2 + 1) \cdot \left(\frac{h_{кр}}{\delta_{кр}} \right)^3 \right]}$$

де $h_{кр}$, $\delta_{кр}$ - товщина плоскої кришки відповідно в зоні ущільнення і на зовнішньому діаметрі, мм.

$$K_{кр} := \frac{695}{529} \quad K_{кр} = 1.314$$

$$X_{кр} := \frac{0.67 \cdot [1.314^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(1.314)) - 1]}{(1.314 - 1) \cdot \left[1.314^2 - 1 + (1.857 \cdot 1.314^2 + 1) \cdot \left(\frac{47}{50} \right)^3 \right]} \quad X_{кр} = 1.253$$

$$y_{кр} := \frac{1.253}{199 \cdot 10^3 \cdot 47^3} \quad y_{кр} = 6.065 \times 10^{-11} \text{ мм/Н,}$$

Плечі моментів сил, мм:

$$b = 0.5 \cdot (D_{1к} - D_{сп}) \quad b := 0.5 \cdot (635 - 529) \quad b = 53 \quad \text{мм},$$

$$e = 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_3) \quad e := 0.5 \cdot (529 - 500 - 20) \quad e = 4.5 \quad \text{мм},$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання з плоскою кришкою:

$$\alpha = 1 - \frac{y_{\Pi} - (Y_{\phi} \cdot e + y_{кр} \cdot b) \cdot b}{\eta} \quad (\text{Б.16})$$

де

$$\tilde{\eta} = y_{\Pi} + y_{ш} + (Y_{\phi} + y_{кр}) \cdot b^2$$

$$\eta := 1.178 \cdot 10^{-8} + 4.526 \cdot 10^{-8} + (1.111 \cdot 10^{-10} + 6.065 \cdot 10^{-11}) \cdot 53^2 \quad \eta = 5.395 \times 10^{-7}$$

$$\alpha := 1 - \frac{1.178 \cdot 10^{-8} - (1.111 \cdot 10^{-10} \cdot 4.5 + 6.065 \cdot 10^{-11} \cdot 53) \cdot 53}{5.395 \cdot 10^{-7}} \quad \alpha = 1.343$$

Б.3.3 Розрахунок навантажень:

Рівнодіюча внутрішнього надмірного тиску:

$$Q_{д} = 0.785 \cdot D_{сп}^2 \cdot P \quad Q_{д} := 0.785 \cdot 529^2 \cdot 3.21 \quad Q_{д} = 7.052 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$R_{\Pi} = \pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot m \cdot P \quad R_{\Pi} := \pi \cdot 529 \cdot 26 \cdot 2.5 \cdot 3.21 \quad R_{\Pi} = 3.468 \times 10^5 \quad \text{Н},$$

Навантаження виникає від температурних деформацій фланцевого з'єднання

$$Q_t = \frac{1}{\eta_1} \cdot (\alpha_{\phi} \cdot h_{\phi} \cdot t_{\phi} + \alpha_{кр} \cdot h_{кр} \cdot t_{кр} - \alpha_{ш} \cdot l_{ш0} \cdot t_{ш}) \quad (\text{Б.17})$$

де

$$\eta_1 = y_{\Pi} + y_{ш} \cdot \frac{E_{6.20}}{E_6} + \left(Y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_{кр} \cdot \frac{E_{кр.20}}{E_{кр}} \right) \cdot b^2$$

α_{ϕ} , $\alpha_{кр}$, α_6 - коефіцієнти лінійного розширення матеріалу фланця, кришки і шпильок відповідно.

$$\eta_1 := 1.178 \cdot 10^{-8} + 4.526 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{199 \cdot 10^3}{178.5 \cdot 10^3} + \left(1.111 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{199 \cdot 10^3}{177.8 \cdot 10^3} + 6.065 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{199 \cdot 10^3}{177.8 \cdot 10^3} \right) \cdot 53^2$$

$$\eta_1 = 6.022 \times 10^{-7}$$

$$Q_t := \frac{1}{6.022 \cdot 10^{-7}} \left(13.1 \cdot 10^{-6} \cdot 110 \cdot 232 + 13.1 \cdot 10^{-6} \cdot 47 \cdot 232 - 13.1 \cdot 10^{-6} \cdot 104 \cdot 225 \right)$$

$$Q_t = 2.833 \times 10^5 \text{ Н}$$

Болтове навантаження в умовах монтажу:

$$P_{\sigma} = \max(P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}, P_{\sigma 3}) \quad (\text{Б.18})$$

де $P_{\sigma 1}$ - болтове навантаження від сумісної дії тиску, осьової стискуючої сили і моменту, що вигинає;

$P_{\sigma 2}$ - болтове навантаження, необхідне для того, щоб початкового з'яло прокладки;

$P_{\sigma 3}$ - болтове навантаження з умови міцності болтів (шпильок).

$$P_{\sigma 1} = \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} - Q_t + \left(\alpha_M \cdot \frac{4 \cdot M}{D_{\text{СП}}} \right) P_{\sigma 1} := 1.343 \cdot (7.052 \cdot 10^5 + 0) + 3.468 \cdot 10^5$$

$$P_{\sigma 1} = 1.294 \times 10^6 \text{ Н}$$

$$P_{\sigma 2} = 0.5 \cdot \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_0 \cdot q_{\text{обж}} \quad P_{\sigma 2} := 0.5 \cdot 3.14 \cdot 529 \cdot 26 \cdot 20 \quad P_{\sigma 2} = 4.319 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{\sigma 3} = 0.4 \cdot \sigma_{\sigma 20} \cdot n \cdot f_{\sigma} \quad P_{\sigma 3} := 0.4 \cdot 154 \cdot 24 \cdot 520 \quad P_{\sigma 3} = 7.688 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{\sigma} := \max(P_{\sigma 1}, P_{\sigma 2}, P_{\sigma 3}) \quad P_{\sigma} = 1.294 \times 10^6 \text{ Н}$$

Б.3.4 Розрахунок шпильок:

Умови міцності шпильок:

- в умовах монтажу:

$$\sigma_{\sigma 1} = \frac{P_{\sigma}}{n \cdot f_{\sigma}} \leq \sigma_{\sigma 20} \quad \sigma_{\sigma 1} = \frac{1.294 \cdot 10^6}{24 \times 520} \leq 154 \text{ МПа} \quad \sigma_{\sigma 1} := \frac{1.294 \cdot 10^6}{24 \times 520} \quad \sigma_{\sigma 1} = 103.69 \text{ МПа} < 154 \text{ МПа}$$

- у робочих умовах:

$$\sigma_{\sigma 2} = \frac{P_{\sigma 1} + \Delta P_{\sigma}}{n \cdot f_{\sigma}} \leq \sigma_{\sigma} \quad (\text{Б.19})$$

де

$$\Delta P_{\zeta} = (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \beta_M \cdot \frac{4 \cdot M}{D_{\text{СП}}}$$

$$\Delta P_{\zeta} := (1 - 1.343) \cdot (7.052 \cdot 10^5 + 0) + 2.833 \cdot 10^5 \quad \Delta P_{\zeta} = 4.142 \times 10^4 \text{ Н}$$

Приріст навантаження на шпильки в робочих умовах:

$$\sigma_{\zeta 2} = \frac{P_{\zeta 1} + \Delta P_{\zeta}}{n \cdot f_{\zeta}} \leq 136.5 \text{ МПа} \quad \sigma_{\zeta 2} := \frac{1.294 \cdot 10^6 + 4.142 \cdot 10^4}{24 \cdot 520} \quad \sigma_{\zeta 2} = 107 \text{ МПа} < 136.5 \text{ МПа}$$

Б.3.5 Розрахунок прокладок

Умова міцності м'яких прокладок:

$$q = \frac{P_{\zeta}}{\pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot S} \leq (q) \quad (\text{Б.20})$$

де $(q) = 130$ - питомий тиск, що допускається на прокладку, МПа [17].

$$q = \frac{P_{\zeta}}{\pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_{\text{П}}} \leq 130 \text{ МПа} \quad q := \frac{1.294 \cdot 10^6}{3.14 \cdot 529 \cdot 46} \quad q = 16.94 \text{ МПа} < 130 \text{ МПа}$$

Б.3.6 Розрахунок фланця на міцність.

Кут повороту фланця при затягуванні з'єднання:

$$\Theta = M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E_{20} \cdot h_{\text{ф}}^3} \quad (\text{Б.21})$$

де

$$M_{01} := 1.294 \cdot 10^6 \cdot 53 \quad M_{01} = 6.858 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

$$\Theta := M_{01} \cdot \frac{[1 - 0.244 \cdot (1 + 0.9 \cdot 0.71)] \cdot 6.128}{199 \cdot 10^3 \cdot 55^3} \quad \Theta = 7.617 \times 10^{-3} \text{ рад}$$

Приріст кута повороту фланця в робочих умовах:

$$\Delta \Theta = \Delta M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{E \cdot h_{\text{ф}}^3}, \quad (\text{Б.22})$$

де

$$\Delta M_{01} = \Delta P_{\bar{c}} \cdot b + Q_{\bar{d}} \cdot e \quad \Delta M_{01} := 4.142 \cdot 10^4 \cdot 53 + 7.052 \cdot 10^5 \cdot 4.5 \quad \Delta M_{01} = 5.369 \times 10^6 \quad \text{Н}^* \cdot \text{мм}$$

$$\Delta \Theta := 5.369 \cdot 10^6 \cdot \frac{[1 - 0.244 \cdot (1 + 0.9 \cdot 0.71)] \cdot 6.128}{199 \cdot 10^3 \cdot 55^3} \quad \Delta \Theta = 5.963 \times 10^{-4} \quad \text{рад}$$

Меридіональна напруга в конічній втулці при затягуванні фланцевого з'єднання для приварених фланців у стик в перетині товщиною S_1 :

- на зовнішній поверхні втулки:

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

- на внутрішній поверхні втулки:

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

де

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{01}}{D \cdot (S_1 - c)^2} \quad (\text{Б.23})$$

$$T = \frac{\left(\frac{D_{1\phi}}{D}\right)^2 \cdot \left(1 + 8.55 \cdot \log\left(\frac{D_{1\phi}}{D}\right)\right) - 1}{\left[1.05 + 1.945 \cdot \left(\frac{D_{1\phi}}{D}\right)^2\right] \cdot \left[\left(\frac{D_{1\phi}}{D}\right) - 1\right]} \quad T := \frac{\left(\frac{695}{500}\right)^2 \cdot \left(1 + 8.55 \cdot \log\left(\frac{695}{500}\right)\right) - 1}{\left[1.05 + 1.945 \cdot \left(\frac{695}{500}\right)^2\right] \cdot \left[\left(\frac{695}{500}\right) - 1\right]} \quad T = 1.757$$

$$\sigma_1 := \frac{1.757 \cdot 0.244 \cdot 6.858 \cdot 10^7}{530 \cdot (30 - 1.8)^2} \quad \sigma_1 = 69.76 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{11} := 69.76 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{12} := -69.76 \quad \text{МПа}$$

Меридіональна напруга в конічній втулці при затягуванні фланцевого з'єднання для приварених фланців у стик в перетині товщиною S_0 :

- на зовнішній поверхні втулки:

$$\sigma_{21} = f \cdot \sigma_1$$

- на внутрішній поверхні втулки:

$$\sigma_{22} = -f \cdot \sigma_1,$$

де f – коефіцієнт.

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{01}}{D \cdot (S_0 - c)^2}$$

$$\sigma_1 := \frac{1.757 \cdot 0.244 \cdot 6.858 \cdot 10^7}{530 \cdot (12 - 1.8)^2} \quad \sigma_1 = 533.19 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{21} := f \cdot \sigma_1 \quad \sigma_{21} = 479.872 \text{ МПа} \quad \sigma_{22} := -f \cdot \sigma_1 \quad \sigma_{22} = -479.872 \text{ МПа}$$

Приріст меридіональної напруги в конічній втулці в робочих умовах для приварених фланців у стик в перерізі S_1 :

- на зовнішній поверхні:

$$\Delta\sigma_{11} = \Delta\sigma_M + \Delta\sigma_1$$

- на внутрішній поверхні:

$$\Delta\sigma_{12} = \Delta\sigma_M - \Delta\sigma_2$$

$$\Delta\sigma_M = \frac{Q_d}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - c)} \quad \Delta\sigma_M := \frac{7.052 \cdot 10^5}{3.14 \cdot 500 \cdot (30 - 1.8)} \quad \Delta\sigma_M = 15.93 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_1 = \frac{T \cdot \omega \cdot \Delta M_{01}}{D \cdot (S_0 - c)^2} \quad \Delta\sigma_1 := \frac{1.757 \cdot 0.046 \cdot 5.369 \cdot 10^6}{530 \cdot (12 - 1.8)^2} \quad \Delta\sigma_1 = 7.87 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_{11} := 15.93 + 7.87 \quad \Delta\sigma_{11} = 23.8 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_{12} := 15.93 - 7.87 \quad \Delta\sigma_{12} = 8.06 \text{ МПа}$$

Приріст меридіональної напруги в конічній втулці в робочих умовах для приварених фланців в стик в перерізі S_0

- на зовнішній поверхні:

$$\Delta\sigma_{21} = \Delta\sigma_M + f \cdot \Delta\sigma_1$$

- на внутрішній поверхні:

$$\Delta\sigma_{22} = \Delta\sigma_M - f \cdot \Delta\sigma_1$$

$$\Delta\sigma_M = \frac{Q_D}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - c)} \quad \Delta\sigma_M := \frac{7.052 \cdot 10^5}{3.14 \cdot 500 \cdot (30 - 1.8)} \quad \Delta\sigma_M = 15.93 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_{21} := 44.04 + 0.9 \cdot 7.87 \quad \Delta\sigma_{21} = 51.12 \text{ МПа}$$

$$\Delta\sigma_{22} := 44.04 - 0.9 \cdot 7.87 \quad \Delta\sigma_{22} = 36.96 \text{ МПа}$$

Окружна напруга в конічній втулці при затягуванні з'єднання для фланців приварених у стик в перерізі S_1 :

- на зовнішній поверхні:

$$\sigma_{13} = \frac{E_{20} \cdot h \cdot \Theta}{D} + 0.3 \cdot \sigma_1 \quad \sigma_{13} := \frac{199 \cdot 10^3 \cdot 55 \cdot 7.617 \cdot 10^{-3}}{500} + 0.3 \cdot 69.76$$

$$\sigma_{13} = 187.66 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні:

$$\sigma_{14} = \frac{E_{20} \cdot h \cdot \Theta}{D} - 0.3 \cdot \sigma_1 \quad \sigma_{14} := \frac{199 \cdot 10^3 \cdot 55 \cdot 7.617 \cdot 10^{-3}}{500} - 0.3 \cdot 69.76$$

$$\sigma_{14} = 145.81 \text{ МПа}$$

Окружна напруга в конічній втулці при затягуванні з'єднання для фланців приварених у стик в перерізі S_0

- на зовнішній поверхні:

$$\sigma_{23} = 0.3 \cdot f \cdot \sigma_1 \quad \sigma_{23} := 0.3 \cdot 0.9 \cdot 533.19 \quad \sigma_{23} = 143.96 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні:

$$\sigma_{24} = -0.3 \cdot f \cdot \sigma_1 \quad \sigma_{24} := -0.3 \cdot 0.9 \cdot 533.19 \quad \sigma_{24} = -143.96 \text{ МПа}$$

Прирости окружної напруги в конічній втулці в робочих умовах в приварних фланцях у стик в перерізі S_1 :

- на зовнішній поверхні:

$$\Delta\sigma_{13} = \frac{E \cdot h \cdot \Delta\Theta}{D} + \frac{P \cdot D}{D_H - D} + 0.3 \cdot \Delta\sigma_1$$

$$\Delta\sigma_{13} := \frac{177.8 \cdot 10^3 \cdot 55 \cdot 5.963 \cdot 10^{-4}}{500} + \frac{3.21 \cdot 500}{695 - 500} + 0.3 \cdot 7.869 \quad \Delta\sigma_{13} = 22.25 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні:

$$\Delta\sigma_{14} = \frac{E \cdot h \cdot \Delta\Theta}{D} + \frac{P \cdot D}{D_H - D} - 0.3 \cdot \Delta\sigma_1$$

$$\Delta\sigma_{14} := \frac{177.8 \cdot 10^3 \cdot 55 \cdot 5.963 \cdot 10^{-4}}{500} + \frac{3.21 \cdot 500}{695 - 500} - 0.3 \cdot 7.869 \quad \Delta\sigma_{14} = 17.53 \text{ МПа}$$

Прирости окружної напруги в конічній втулці в робочих умовах в приварених фланцях у стик в перерізі S_0 :

- на зовнішній поверхні:

$$\Delta\sigma_{23} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} + 0.3 \cdot f \cdot \Delta\sigma_1 \quad \Delta\sigma_{23} := \frac{3.21 \cdot 500}{2 \cdot (12 - 1.8)} + 0.3 \cdot 0.9 \cdot 7.869 \quad \Delta\sigma_{23} = 80.8 \text{ МПа}$$

- на внутрішній поверхні:

$$\Delta\sigma_{24} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} - 0.3 \cdot f \cdot \Delta\sigma_1 \quad \Delta\sigma_{24} := \frac{3.21 \cdot 500}{2 \cdot (12 - 1.8)} - 0.3 \cdot 0.9 \cdot 7.869 \quad \Delta\sigma_{24} = 76.55 \text{ МПа}$$

Умова статичної міцності фланців приварених у стик в перерізі S_1

- при затягуванні з'єднання:

$$\sigma_{s1} = \max\left(\sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{13}^2 - \sigma_{11} \cdot \sigma_{13}}, \sqrt{\sigma_{12}^2 + \sigma_{14}^2 - \sigma_{12} \cdot \sigma_{14}}\right) \leq \sigma_{S1.20}$$

$$\sigma_{s1} := \max\left[\sqrt{69.76^2 + 187.66^2 - 69.76 \cdot 187.66}, \sqrt{(-69.76)^2 + 145.81^2 - (-69.76) \cdot 145.81}\right]$$

$$\sigma_{s1} = 190.52 \text{ МПа} < 231 \text{ МПа}$$

- у робочих умовах:

$$\sigma_{s1} = \max\left[\sqrt{(\sigma_{11} + \Delta\sigma_{11})^2 + (\sigma_{13} + \Delta\sigma_{13})^2 - (\sigma_{11} + \Delta\sigma_{11}) \cdot (\sigma_{13} + \Delta\sigma_{13})} \dots \right. \\ \left. + \sqrt{(\sigma_{12} + \Delta\sigma_{12})^2 + (\sigma_{14} + \Delta\sigma_{14})^2 - (\sigma_{12} + \Delta\sigma_{12}) \cdot (\sigma_{14} + \Delta\sigma_{14})}\right] \leq \sigma_{S1}$$

$$\sigma_{s1} := \max\left[\sqrt{(69.76 + 23.8)^2 + (187.66 + 22.25)^2 - (69.76 + 23.8) \cdot (187.66 + 22.25)} \dots \right. \\ \left. + \sqrt{(-69.76 + 8.06)^2 + (145.81 + 17.53)^2 - (-69.76 + 8.06) \cdot (145.81 + 17.53)}\right]$$

$$\sigma_{s1} := 201.4 \text{ МПа} < 204.75 \text{ МПа}$$

Умова статичної міцності фланців приварених у стик в перерізі S_0 :

- при затягуванні з'єднання:

$$\sigma_{s0} = \max\left(\sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{21} \cdot \sigma_{23}}, \sqrt{\sigma_{22}^2 + \sigma_{24}^2 - \sigma_{22} \cdot \sigma_{24}}\right) \leq \sigma_{S0.20}$$

$$\sigma_{s0} := \max\left[\sqrt{479.87^2 + 143.96^2 - 479.87 \cdot 143.96}, \sqrt{(-479.87)^2 + (-143.96)^2 - (-479.87) \cdot (-143.96)}\right]$$

$$\sigma_{s0} := 443.18 \text{ МПа} < 525,61 \text{ МПа}$$

- у робочих умовах:

$$\sigma_{s0} = \max\left[\sqrt{(\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21})^2 + (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})^2 - (\sigma_{21} + \Delta\sigma_{21}) \cdot (\sigma_{23} + \Delta\sigma_{23})} \dots \right] \leq \sigma_{S0}$$

$$+ \sqrt{(\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22})^2 + (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})^2 - (\sigma_{22} + \Delta\sigma_{22}) \cdot (\sigma_{24} + \Delta\sigma_{24})}$$

$$\sigma_{s0} := \max\left[\sqrt{(479.87 + 51.12)^2 + (143.96 + 80.8)^2 - (479.87 + 51.12) \cdot (143.96 + 80.8)} \dots \right]$$

$$+ \sqrt{(-479.87 + 36.96)^2 + (-143.96 + 76.55)^2 - (-479.87 + 36.96) \cdot (-143.96 + 76.55)}$$

$$\sigma_{s0} := 461.66 \text{ МПа} < 503,09 \text{ МПа}$$

Умова статичної міцності фланцевого з'єднання виконується.

Б.3.7 Вимоги до жорсткості фланцевого з'єднання:

Умова жорсткості (герметичності) фланцевого з'єднання

$$\Theta + \Delta\Theta \leq (\Theta), \quad (\text{Б.24})$$

де $[\Theta]$ - кут повороту фланця, що допускається; у робочих умовах = 0,009.

$$7.617 \cdot 10^{-3} + 5.963 \cdot 10^{-4} = 0.008 \text{ рад}$$

Умова жорсткості виконується.

Б.3.8 Розрахунок кришки люка

Розрахункова товщина плоскої круглї кришки з додатковим крайовим моментом:

$$S_{1p} = K_0 \cdot K_6 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P}{\phi \cdot \sigma}}, \quad (\text{Б.25})$$

де D_0 - коефіцієнт ослаблення кришки отворами;

K_6 - безрозмірний коефіцієнт;

D_p - розрахунковий діаметр кришки.

Розрахунковий діаметр кришки:

$$D_p = D_{сп} = 529 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт ослаблення для кришок без отворів:

$$K = 1.$$

Коефіцієнт K_6 :

$$K_6 = 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot \psi \cdot \left(\frac{D_3}{D_{сп}} - 1 \right)}{\frac{D_3}{D_{сп}}}} \quad (\text{Б.26})$$

де ψ - безрозмірний коефіцієнт;

D_3 - діаметр болтового кола.

$$D_3 = D_6 = 635 \text{ мм}$$

$$\psi = \max \left(1 + \frac{F_{II}}{F_Q}, \frac{F_6}{F_Q} \right), \quad (\text{Б.27})$$

де F_{II} - реакція прокладки;

F_6 - болтове навантаження;

F_Q - рівнодіюча внутрішнього тиску.

$$\psi := \max \left(1 + \frac{10.421 \cdot 10^4}{7.052 \cdot 10^5}, \frac{9.312 \cdot 10^5}{7.052 \cdot 10^5} \right) \quad \psi = 1.32$$

$$K_6 := 0.41 \cdot \sqrt{\frac{1 + 3 \cdot 1.32 \cdot \left(\frac{635}{529} - 1 \right)}{\frac{635}{529}}} \quad K_6 = 0.501$$

Розрахункова товщина кришки:

$$S_{1p} := 1.03 \cdot 0.501 \cdot 529 \cdot \sqrt{\frac{3.21}{1.134.96}} \quad S_{1p} = 42.1 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки:

$$S_1 \geq S_{1p} + C$$

$$C = C_1 = 1.8 \text{ мм} \quad S_1 := 42.1 + 1.8 \quad S_1 = 43.9 \text{ мм}$$

З урахуванням стандартної товщини листа, приймаємо виконавчу товщину плоскої кришки:

$$S_1 := 50 \text{ мм.}$$

Товщина плоскої кришки в місці ущільнення:

$$S_2 \geq \max\left(K_7 \cdot \sqrt{\Phi}, 0.6 \cdot \frac{\Phi}{D_{\text{сп}}}\right) + C_1 \quad (\text{Б.28})$$

де

$$\Phi = \max\left(\frac{F_{\bar{\sigma}_p}}{\sigma_p}, \frac{F_{\bar{\sigma}_m}}{\sigma_m}\right).$$

Індекс "р" - вказує на те, що величина відноситься до робочого стану або умов випробування, індекс "м" - до умов монтажу.

Болтове навантаження в робочих умовах:

$$F_{\bar{\sigma}_p} = P_{\bar{\sigma}_1} + \Delta P_{\bar{\sigma}} \quad F_{\bar{\sigma}_p} := 1.294 \cdot 10^6 - 4.142 \cdot 10^4 \quad F_{\bar{\sigma}_p} = 1.253 \times 10^6 \text{ Н}$$

Напруга матеріалу кришки, що допускається, в робочих умовах:

$$\sigma_p = \sigma = 134.96 \text{ МПа}$$

Болтове навантаження в умовах монтажу:

$$F_{\bar{\sigma}_m} = P_{\bar{\sigma}} = 1.294 \cdot 10^6 \text{ МПа}$$

Напруга матеріалу кришки, що допускається, в умовах монтажу:

$$\sigma_m = \sigma_{20} = 154 \text{ МПа}$$

$$\Phi := \max\left(\frac{1.253 \cdot 10^6}{134.96}, \frac{1.294 \cdot 10^6}{154}\right) \quad \Phi = 9.284 \times 10^3$$

$$K_7 = 0.8 \cdot \sqrt{\left(\frac{D_3}{D_{\text{сп}}}\right) - 1} \quad K_7 := 0.8 \cdot \sqrt{\left(\frac{635}{529}\right) - 1} \quad K_7 = 0.358$$

Товщина плоскої кришки в місці ущільнення:

$$S_2 := \max\left(0.358 \cdot \sqrt{9.284 \cdot 10^3}, 0.6 \cdot \frac{9.284 \cdot 10^3}{529}\right) + 1 \quad S_2 = 35.49 \quad \text{мм}$$

Виконавча товщина стінки:

$$S \geq S_{1p} + C$$

$$C = C_1 = 1.8 \quad \text{мм} \quad S := 35.49 + 1.8 \quad S = 37.29 \quad \text{мм}$$

З урахуванням стандартної товщини листа приймаємо виконавчу товщину плоскої кришки в місці ущільнення:

$$S_2 := 48 \quad \text{мм}$$

Тиск, що допускається, для плоскої кришки з додатковим краєвим моментом:

$$P := \left(\frac{S_2 - C}{K_0 \cdot K_7 \cdot D_p}\right)^2 \cdot \sigma \cdot \phi \quad P := \left(\frac{48 - 1.8}{1 \cdot 0.358 \cdot 529}\right)^2 \cdot 134.96 \cdot 1 \quad P = 8.03 \quad \text{МПа}$$

$$P > 3.21 \quad \text{МПа.}$$

Умова виконується.

Б.4 Розрахунок опорних навантажень

Б.4.1 Вибір опор

Апарат встановлений на 4 опорних лапах.

Зусилля, що діє на опорну лапу при забезпеченні рівномірного розподілу навантаження між всіма опорними лапами.

$$F_1 = \frac{G}{4} \tag{Б.29}$$

де G - вага апарату в робочих умовах.

Маса апарату в робочих умовах з урахуванням ізоляції:

$$m = m_{\text{ср}} + m_{\text{ап}} + m_{\text{Мр}} + m_{\text{ст}} + m_{\text{дв}} + m_{\text{вал}} + m_{\text{упл}} \tag{Б.30}$$

де - $m_{\text{ср}}$ - маса середовища.

$$m_{\text{ср}} = \rho_{\text{ср}} \cdot (V_{\text{Ц}} + V_{\text{э}})$$

$$V_{\text{Ц}} := 34.29 \text{ м} \quad V_{\text{э}} := 4.225 \text{ м}$$

$$m_{\text{ср}} := 687 \cdot (34.29 + 4.23) \quad m_{\text{ср}} = 2.65 \times 10^4 \text{ кг}$$

де $m_{\text{ап}}$ - маса апарату = 23263,2 кг;

$m_{\text{мр}}$ - маса мотор-редуктора = 870 кг;

$m_{\text{ст}}$ - маса стійки = 1060 кг;

$m_{\text{дв}}$ - маса двигуна = 840 кг;

$m_{\text{вал}}$ - маса вала = 1400 кг;

$m_{\text{упл}}$ - маса торцевого ущільнення = 85 кг.

$$m_{\text{вал}} = m_{\text{вал}} + m_{\text{меш}}$$

$$m_{\text{вал}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cdot \rho_{\text{среды}} \quad m_{\text{вал}} := \frac{\pi \cdot 0.11^2}{4} \cdot 9.45 \cdot 7800 \quad m_{\text{вал}} = 700.5 \text{ кг}$$

$$m_{\text{вал}} := 700.5 + 2 \left(\frac{m_{\text{вал}}}{2} \right) \quad m_{\text{вал}} = 1.4 \times 10^3 \text{ кг}$$

$$m := 2.65 \cdot 10^4 + 2.326 \cdot 10^4 + 870 + 1060 + 840 + 1400 + 85 \quad m = 5.4 \times 10^4 \text{ кг}$$

Вага апарата:

$$G = m \cdot g \quad G := 5.4 \cdot 10^4 \cdot 9.81 \quad G = 5.3 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$F_1 := \frac{5.3 \cdot 10^5}{4} \quad F_1 = 132500 \text{ Н}$$

За стандартом приймаємо зварні лапи із збільшеним вильотом для ізоляції, де навантаження, що допускається, на опорну лапу 160 000 Н.

Б.4.2 Розрахунок обичайки на міцність від дії опорних навантажень

Здатність обичайки в місці приварювання опорної лапи без підкладного листа:

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

де S_i - гранична напруга вигину;

h_1 - висота опорної лапи;

e_1 - відстань між точкою додатку зусилля і обичайкою.

$$e_1 = \frac{5}{6} \cdot l_1 \quad e_1 := \frac{5}{6} \cdot 440 \quad e_1 = 367 \quad \text{мм}$$

За рекомендаціями стандарту приймаємо $e_1 := 367$ мм.

K_7 - коефіцієнт, залежний від конструкції опорної лапи і відношення h_1/D_R

$$\frac{h_1}{D} = \frac{733}{3000} = 0.244$$

Коефіцієнт K_7 визначений за номограмою;

$$K_7 := 0.65$$

Гранична напруга згину;

$$\sigma_i = K_1 \cdot \sigma \cdot \frac{n_T}{K_2}, \quad (\text{Б.31})$$

де K_1 - коефіцієнт, залежний від відношення місцевої мембранної напруги до місцевої напруги вигину q_1 і ступені навантаження загальною мембранною напругою q_2 .

n_T - коефіцієнт запасу міцності по межі текучості = 1,5 - для робочих умов

K_2 – коефіцієнт; для робочих умов = 1,2

$$\theta_2 = \frac{K_2 \cdot \sigma'_m}{n_T \cdot \sigma \cdot \phi} \quad (\text{Б.32})$$

де σ'_m - загальна мембранна напруга.

Для прийнятої розрахункової моделі опори:

$$\sigma'_m = \sigma'_{my} = \frac{P \cdot D_R}{2 \cdot (S - C)}$$

$$\sigma'_m := \frac{3.21 \cdot 3000}{2 \cdot (38 - 1.8)} \quad \sigma'_m = 133 \text{ МПа}$$

$$\theta_2 := \frac{1.2}{1.5} \cdot \frac{133}{134.96 \cdot 1} \quad \theta_2 = 0.788$$

Коефіцієнт K_1 при $\theta_1 := 0.3$ і $\theta_2 := 0.788$ визначається за графіком.

$$K_1 := 0.76$$

Гранична напруга згину:

$$\sigma_i := 0.76 \cdot 134.96 \cdot \frac{1.5}{1.2} \quad \sigma_i = 128.2 \text{ МПа}$$

Зусилля, що допускається, на опорний елемент:

$$F_1 := \frac{128.2 \cdot 733 \cdot (38 - 1.8)^2}{0.65 \cdot 367} \quad F_1 = 516213.9$$

Перевіряємо умову: $132\,500 \text{ Н} < 516\,513.9 \text{ Н}$.

Умова виконується.

Б.5 Вибір стропових вузлів

Стропування апарату здійснюється за дві цапфи.

Маса апарату в умовах монтажу:

$$m_1 := 2.77 \cdot 10^4 \text{ кг}$$

Вага апарату в умовах монтажу:

$$G_1 = m_1 \cdot g \quad G_1 := 2.77 \cdot 10^4 \cdot 9.81 \quad G_1 = 2.717 \times 10^5 \text{ Н}$$

Зусилля, що діє на один строповий пристрій:

$$P_c = \frac{1.25 \cdot G_1}{n}, \quad (\text{Б.33})$$

де n - кількість стропових пристроїв.

$$P_c := \frac{1.25 \cdot 2.717 \cdot 10^5}{2} \quad P_c = 169812.5 \text{ Н}$$

Приймаємо цапфу вантажопідйомністю $250\,000 \text{ Н}$ із сталі марки СтЗсп5 для апарату з радіусом кривизни $R = 3000 \text{ мм}$.

Б.6 Розрахунок жорсткого однопрольотного валу постійного перерізу

Б.6.1 Початкові дані:

Довжина валу $L := 8.98 \text{ м}$.

Довжина прольоту $L := 8.98 \text{ м}$.

Координата центру маси мішалки:

$$l_1 := 5.1 \text{ м};$$

$$l_2 := 8.1 \text{ м}.$$

Координати небезпечних перерізів:

за жорсткістю $z_1 := 1.33 \text{ м}$;

за міцністю $z_2 := 5.1 \text{ м}$.

Концентратор напруги в перерізі Z_2 - паз шпонки.

Матеріал валу - 12Х18Н10Т.

Частота обертання валу, $n := 68 \text{ об/хв}$.

Число мішалок -2.

Маса мішалки, $m_1 := 155 \text{ кг}$; $m_2 := 155 \text{ кг}$.

Перемішуване середовище (за фазовим станом) - рідина-газ.

Число Рейнольдса відцентрове - $Re := 5.3 \cdot 10^5$.

Потужність перемішування $N := 6.2 \cdot 10^3 \text{ Вт}$.

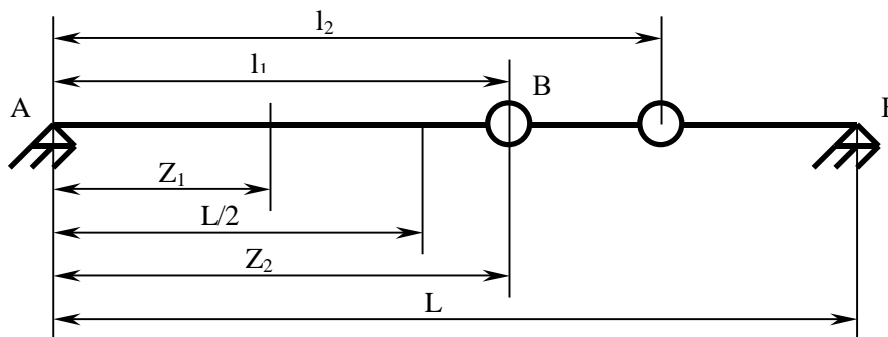


Рисунок Б.1 – Розрахункова схема валу

Б.6.2 Розрахунок на вібростійкість

Відносна координата центру маси мішалки:

$$l_1 := \frac{l_1}{L} \quad l_1 = 0.57$$

$$l_2 := \frac{l_2}{L} \quad l_2 = 0.9$$

Кутова швидкість валу:

$$\omega := \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \omega := \frac{\pi \cdot 68}{30} \quad \omega = 7.12 \text{ рад/с}$$

Безрозмірний динамічний прогин валу в центрі маси мішалки:

$$y_{11} := 0.97 \quad y_{12} := 0.29$$

Приведена маса мішалки:

$$m_{\text{пр1}} := m_1 \cdot y_{11}^2 \quad m_{\text{пр1}} = 145.84 \text{ кг}$$

$$m_{\text{пр2}} := m_2 \cdot y_{12}^2 \quad m_{\text{пр2}} = 13.04 \text{ кг}$$

Сумарна приведена маса мішалок:

$$m_{\text{пр}} := m_{\text{пр1}} + m_{\text{пр2}} \quad m_{\text{пр}} := 145.84 + 13.04 \quad m_{\text{пр}} = 158.88 \text{ кг}$$

Безрозмірний коефіцієнт:

$$f = \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot L^2}{3 \cdot E}, \quad (\text{Б.34})$$

$\rho := 7850 \text{ кг/м}^3$ - густина матеріалу валу;

$E := 2 \cdot 10^{11}$ - модуль поздовжньої пружності, Па

$$f := \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot L^2}{3 \cdot E} \quad f := \frac{7850 \cdot 7.12^2 \cdot 8.98^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11}} \quad f = 5.35 \times 10^{-5}$$

Приведена безрозмірна маса валу:

$$m_{\text{в.пр}} := 0.8$$

Комплекси:

$$A_1 := m_{\text{в.пр}} \cdot f \cdot L^2 \quad A_1 := 0.8 \cdot 5.35 \cdot 10^{-5} \cdot 8.98^2 \quad A_1 = 3.45 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$A_2 := \frac{8 \cdot m_{\text{пр}} \cdot f \cdot L}{\pi \cdot \rho} \quad A_2 := \frac{8 \cdot 158.88 \cdot 5.35 \cdot 10^{-5} \cdot 8.98}{\pi \cdot 7850} \quad A_2 = 2.476 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Розрахунковий діаметр валу:

$$d_p := \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} \quad d_p := \sqrt{3.45 \cdot 10^{-3} + \sqrt{3.45 \cdot (10^{-3})^2 + 2.476 \cdot 10^{-5}}} \quad d_p = 0.094 \text{ м}$$

Прийнятий діаметр валу:

$$d := 0.11 \text{ м}$$

Лінійна маса валу:

$$m_B := \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho \quad m_B := \frac{\pi}{4} \cdot 0.11^2 \cdot 7850 \quad m_B = 74.6 \text{ кг}$$

Відносна сумарна маса мішалок:

$$m_{\text{пр}} := \frac{m_{\text{пр}}}{m_B \cdot L} \quad m_{\text{пр}} := \frac{158.88}{74.6 \cdot 8.98} \quad m_{\text{пр}} = 0.237 \text{ кг}$$

Безрозмірна критична кутова швидкість:

$$\omega_1 := \frac{9.8}{\sqrt{1 + 2 \cdot m_{\text{пр}}}} \quad \omega_1 := \frac{9.8}{\sqrt{1 + 2 \cdot 0.237}} \quad \omega_1 = 8.07$$

Перша критична кутова швидкість валу:

$$\omega_1 := \frac{\omega_1 \cdot d}{4 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \omega_1 := \frac{8.07 \cdot 0.11}{4 \cdot 8.98^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11}}{7850}} \quad \omega_1 = 13.89 \text{ рад/с}$$

Умова вібростійкості:

$$\frac{\omega}{\omega_1} = 0.51 < 0.6$$

Умова виконується.

Б.6.3 Розрахунок на жорсткість

Ексцентриситет маси мішалки:

$$e := \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} \quad e := \frac{10^{-3}}{\sqrt{7.12}} \quad e = 3.748 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Відносна координата небезпечного по жорсткості перетину:

$$z_1 := \frac{z_1}{L} \quad z_1 := \frac{1.33}{8.98} \quad z_1 = 0.15 \text{ м}$$

Безрозмірний динамічний прогин валу:

$$y_{z1} := 0.45$$

Приведений ексцентриситет маси мішалки:

$$e_{\text{пр1}} := \frac{e}{y_{11}} \quad e_{\text{пр1}} := \frac{3.748 \cdot 10^{-4}}{0.97} \quad e_{\text{пр1}} = 3.864 \times 10^{-4} \quad \text{м}$$

$$e_{\text{пр2}} := \frac{e}{y_{12}} \quad e_{\text{пр2}} := \frac{3.748 \cdot 10^{-4}}{0.29} \quad e_{\text{пр2}} = 1.292 \times 10^{-3} \quad \text{м}$$

Приведена маса валу:

$$m_{\text{в.пр}} := m_{\text{в.пр}} \cdot m_{\text{в}} \cdot L \quad m_{\text{в.пр}} := 0.8 \cdot 74.6 \cdot 8.98 \quad m_{\text{в.пр}} = 535.93 \quad \text{кг}$$

$$\Delta_{z1} = \frac{(\Delta_{\text{Б}} - \Delta_{\text{А}}) \cdot z_1}{L} + \Delta_{\text{А}}, \quad (\text{Б.35})$$

де

$$\Delta_{z1} := \frac{(\Delta_{\text{Б}} - \Delta_{\text{А}}) \cdot z_1}{L} + \Delta_{\text{А}} \quad \Delta_{z1} := \frac{(0.015 \cdot 10^{-4} - 0.015 \cdot 10^{-4}) \cdot 0.148}{8.98} + 0.015 \cdot 10^{-4} \quad \Delta_{z1} = 1.5 \times 10^{-6} \quad \text{м}$$

Зсув осі вала від осі обертання за рахунок початкової зігнутості валу:

$$\varepsilon_{z1} = \varepsilon_{\text{в}} \cdot y_{z1}$$

де $\varepsilon_{\text{в}} := 0.8 \cdot 10^{-3}$ початкова зігнутість валу в точці приведення В.

$$\varepsilon_{z1} := \varepsilon_{\text{в}} \cdot y_{z1} \quad \varepsilon_{z1} := 0.8 \cdot 10^{-3} \cdot 0.45 \quad \varepsilon_{z1} = 3.6 \times 10^{-4} \quad \text{м}$$

Зсув осі валу від осі обертання в точці приведення за рахунок зазорів в опорах:

$$\Delta_{\text{В}} := \frac{\Delta_{\text{А}} + \Delta_{\text{Б}}}{2} \quad \Delta_{\text{В}} := \frac{0.015 \cdot 10^{-4} + 0.015 \cdot 10^{-4}}{2} \quad \Delta_{\text{В}} = 1.5 \times 10^{-6} \quad \text{м}$$

Комплекс:

$$B_1 := \frac{m_{\text{пр1}} \cdot e_{\text{пр1}} + m_{\text{пр2}} \cdot e_{\text{пр2}}}{m_{\text{пр}} + m_{\text{в.пр}}} \quad B_1 := \frac{145.84 \cdot 3.864 \cdot 10^{-4} + 13.04 \cdot 1.292 \times 10^{-3}}{0.24 + 535.93} \quad B_1 = 1.37 \times 10^{-4} \quad \text{м}$$

Приведений ексцентриситет маси валу з мішалками:

$$e_{\text{пр}} := B_1 + \Delta_{\text{В}} + \varepsilon_{\text{в}} \quad e_{\text{пр}} := 1.37 \cdot 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-6} + 0.8 \cdot 10^{-3} \quad e_{\text{пр}} = 9.385 \times 10^{-4} \quad \text{м}$$

Динамічний прогин осі валу в точці приведення:

$$y_B := \frac{\epsilon_{\text{пр}}}{\left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 - 1} \quad y_B := \frac{9.385 \times 10^{-4}}{\left(\frac{13.89}{7.12}\right)^2 - 1} \quad y_B = 3.345 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Зсув осі валу від осі обертання за рахунок динамічного прогину:

$$y_{z1} := y_B \cdot y_{z1} \quad y_{z1} := 3.345 \times 10^{-4} \cdot 0.45 \quad y_{z1} = 1.505 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Динамічний зсув валу в перерізі Z_1 :

$$A_{z1} := y_{z1} + \Delta_{z1} + \epsilon_{z1} \quad A_{z1} := 1.505 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-6} + 3.6 \times 10^{-4} \quad A_{z1} = 5.1 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Умова жорсткості $A_{z1} < [A]_{z1}$

де $[A]_{z1}$ - допустимий зсув валу, в перерізі Z_1 .

$$5.1 \cdot 10^{-4} \text{ м} < 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Умова виконується.

Б.6.4 Розрахунок на міцність

Зсув осі валу від осі обертання за рахунок зазорів в опорах:

$$\Delta_{11} := \frac{(\Delta_B - \Delta_A) \cdot l_1}{L} + \Delta_A \quad \Delta_{11} := \frac{(1.5 \times 10^{-6} - 1.5 \times 10^{-6}) \cdot 0.568}{8.98} + 1.5 \times 10^{-6} \quad \Delta_{11} = 1.5 \times 10^{-6} \text{ м}$$

$$\Delta_{12} := \frac{(\Delta_B - \Delta_A) \cdot l_2}{L} + \Delta_A \quad \Delta_{12} := \frac{(1.5 \times 10^{-6} - 1.5 \times 10^{-6}) \cdot 0.902}{8.98} + 1.5 \times 10^{-6} \quad \Delta_{12} = 1.5 \times 10^{-6} \text{ м}$$

Зсув осі валу від осі обертання за рахунок початкової зігнутості валу:

$$\epsilon_{11} := \epsilon_B \cdot y_{11} \quad \epsilon_{11} := 8 \times 10^{-4} \cdot 0.97 \quad \epsilon_{11} = 7.76 \times 10^{-4} \text{ м}$$

$$\epsilon_{12} := \epsilon_B \cdot y_{12} \quad \epsilon_{12} := 8 \times 10^{-4} \cdot 0.29 \quad \epsilon_{12} = 2.32 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Зсув осі валу від осі обертання за рахунок динамічного прогину:

$$y_{11} := y_B \cdot y_{11} \quad y_{11} := 3.345 \times 10^{-4} \cdot 0.97 \quad y_{11} = 3.245 \times 10^{-4} \text{ м}$$

$$y_{12} := y_B \cdot y_{12} \quad y_{12} := 3.345 \times 10^{-4} \cdot 0.29 \quad y_{12} = 9.7 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Динамічний зсув центру маси мішалки:

$$A_{11} := y_{11} + \Delta_{11} + \epsilon_{11} + e \quad A_{11} := 3.245 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-6} + 7.76 \times 10^{-4} + 3.748 \times 10^{-4}$$

$$A_{11} = 1.477 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$A_{12} := y_{12} + \Delta_{12} + \varepsilon_{12} + e \quad A_{12} := 9.7 \times 10^{-5} + 1.5 \times 10^{-6} + 2.32 \times 10^{-4} + 3.748 \times 10^{-4}$$

$$A_{12} = 7.053 \times 10^{-4} \text{ м}$$

Динамічний зсув валу в точці приведення:

$$A_B := y_B + \Delta_B + \varepsilon_B \quad A_B := 3.345 \times 10^{-4} + 1.5 \times 10^{-6} + 8 \times 10^{-4} \quad A_B = 1.136 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Зосереджена відцентрова сила, що діє на мішалку:

$\beta := 3$ - коефіцієнт режиму навантаження.

$$F_1 := \beta \cdot m_1 \cdot \omega^2 \cdot A_{11} \quad F_1 := 3 \cdot 155 \cdot 7.12^2 \cdot 1.477 \times 10^{-3} \quad F_1 = 34.82 \text{ Н}$$

$$F_2 := \beta \cdot m_2 \cdot \omega^2 \cdot A_{12} \quad F_2 := 3 \cdot 155 \cdot 7.12^2 \cdot 7.053 \times 10^{-4} \quad F_2 = 16.63 \text{ Н}$$

Приведена відцентрова сила, що діє на вал в точці приведення:

$$F_{B.пр} := \beta \cdot m_{B.пр} \cdot \omega^2 \cdot A_B \quad F_{B.пр} := 3 \cdot 535.93 \cdot 7.12^2 \cdot 1.136 \times 10^{-3} \quad F_{B.пр} = 92.59 \text{ Н}$$

Комплекс

$$B_1 := F_1 \cdot (L - 5.1) + F_2 \cdot (L - 8.1) \quad B_1 := 34.82 \cdot (8.98 - 5.1) + 16.63 \cdot (8.98 - 8.1) \quad B_1 = 149.74 \text{ Н*м}$$

Реакція опори А:

$$R_A := \frac{B_1}{L} + \frac{F_{B.пр}}{2} \quad R_A := \frac{149.74}{8.98} + \frac{92.59}{2} \quad R_A = 62.97 \text{ Н}$$

Комплекс:

$$B_3 := F_1 \cdot 5.1 + F_2 \cdot 8.1 \quad B_3 := 34.82 \cdot 5.1 + 16.63 \cdot 8.1 \quad B_3 = 312.28 \text{ Н*м}$$

Реакція опори Б:

$$R_B := \frac{1}{L} \cdot B_3 + \frac{F_{B.пр}}{2} \quad R_B := \frac{1}{8.98} \cdot 312.28 + \frac{92.59}{2} \quad R_B = 81.07 \text{ Н}$$

Момент, що вигинає:

$$M_{и2} := R_A \cdot z_2 - F_{B.пр} \cdot (z_2 - 0.5 \cdot L) \quad M_{и2} := 62.97 \cdot 5.1 - 92.59 \cdot (5.1 - 0.5 \cdot 8.98) \quad M_{и2} = 264.7 \text{ Н*м}$$

Момент, що крутить:

$$M_{к2} := \frac{N}{\omega} \quad M_{к2} := \frac{6.2 \cdot 10^3}{7.12} \quad M_{к2} = 870.8 \quad \text{Н*м}$$

Момент опору:

$$W_2 := \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \quad W_2 := \frac{\pi}{32} \cdot 0.11^3 \quad W_2 = 1.307 \times 10^{-4} \quad \text{м}$$

Еквівалентна напруга:

$$\sigma_{\text{эКВ.2}} := \frac{\sqrt{M_{и2}^2 + M_{к2}^2}}{W_2} \quad \sigma_{\text{эКВ.2}} := \frac{\sqrt{264.7^2 + 870.8^2}}{1.307 \cdot 10^{-4}} \quad \sigma_{\text{эКВ.2}} = 6.96 \times 10^6 \quad \text{Па}$$

$$\frac{M_{и2}}{M_{к2}} = 0.3$$

Умова міцності:

$$\sigma_{\text{эКВ.2}} < [\sigma]$$

де $[\sigma] = 750 \cdot 10^6$ - напруга допустимого вигину.

$$6.96 \cdot 10^6 \quad \text{Па} < 750 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$$

Умова виконується.