

РЕФЕРАТ

магістерської роботи «Колона віддувки у виробництві
адіпінової кислоти потужністю 46 тис. т/рік»

Звіт 103 с., 6 табл., 5 рис., 22 літ. джерела

АДІПІНОВА КИСЛОТА, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС, КОЛОНА, КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ, МІЦНІСТЬ, РЕМОНТ, МОНТАЖ.

Об'єкт дослідження – віддувочна колона у виробництві адіпінової кислоти.

Мета роботи – на підставі вивчення та аналізу технічної літератури, що присвячена технології вироблення адіпінової кислоти та застосовуваного обладнання, розрахувати параметри віддувочної колони.

Методи дослідження – теоретичні та розрахункові.

Магістерська робота включає такі етапи:

- ✓ аналітичний огляд наукової та технічної літератури за темою;
- ✓ аналіз технології виробництва адіпінової кислоти та технологічні розрахунки;
- ✓ аналіз конструкції та принципу роботи віддувочної колони;
- ✓ вибір основних конструкційних матеріалів;
- ✓ розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість колони;
- ✓ розробка технології виготовлення колони;
- ✓ ремонт і монтаж колони;
- ✓ заходи з охорони праці;
- ✓ заходи з промислової екології.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	6
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	13
2.1 Обґрунтування вибраного методу виробництва.....	13
2.2 Опис технологічної схеми виробництва	13
2.3 Характеристика сировини і готового продукту	16
2.4 Матеріальний баланс	18
2.5 Технологічний розрахунок.....	22
2.6 Гідравлічний опір колони.....	28
2.7 Тепловий баланс	30
2.8 Розрахунок теплоізоляції колони	31
3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ І ПРИНЦИПУ РОБОТИ АПАРАТУ	33
4 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ	35
4.1 Обґрунтування вибраної марки сталі.....	35
5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ.....	37
5.1 Розрахунковий тиск	37
5.2 Визначення групи апарату	39
5.3 Розрахункова температура	39
5.4 Навантаження від власної ваги	50
5.5 Визначення моментів, що вигинають, від вітрового навантаження.	52
5.6 Поєднання навантажень	59
5.7 Розрахунок приведених навантажень і вибір опори.....	60
5.8 Розрахунок корпусу колонного апарату на міцність.....	61
5.9 Розрахунок опорної обичайки.....	63

5.10 Розрахунок довжини перехідної частини опорної обичайки з корозійної сталі.....	67
6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ АПАРАТУ	69
7 РЕМОНТ І МОНТАЖ КОЛОНИ.....	75
7.1 Перевірка і приймання фундаменту під монтаж колони.	75
7.2 Підйом колони і установка в проектне положення.	76
7.3 Підготовка до ремонту колонного апарату	76
7.4 Гідравлічне випробування апарату.	78
8 ОХОРОНА ПРАЦІ	80
8.1 Основні фізико – хімічні властивості речовин, що застосовуються і виробляються на виробництві, яке проектується.	80
8.2 Шкідливі виробничі фактори на проектованому виробництві	81
8.3 Класифікація і категорійність виробництва і його приміщень	82
8.4 Засоби захисту від шкідливих виробничих чинників.....	83
8.5 Експлуатація технологічного устаткування.....	95
9 ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ.....	97
10 ВИВОДИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	102
11 ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	103

ВСТУП

Останнім часом відбувається бурхливий розвиток полімерних матеріалів. При цьому з кожним роком з'являються все більше нових полімерів з різними властивостями. Дуже важливими по масштабах виробництва є поліамідні матеріали і, зокрема, капрон і нейлон, основними продуктами для отримання яких служать капролактамі і адіпінова кислота.

У зв'язку з цим надзвичайно важливим є вибір правильного напрямку розвитку виробництва адіпінової кислоти на основі дешевої і доступної сировини із застосуванням найбільш технічно і економічно ефективних процесів при мінімальних капітальних вкладеннях.

До останнього часу адіпінову кислоту в промисловому масштабі проводили тільки з фенолу. Проте фенол є порівняно дефіцитним продуктом, і тому були розгорнені широкі дослідження по заміні фенолу іншою сировиною. Найбільш перспективною сировиною для виробництва адіпінової кислоти є циклогексанол, який може бути отриманий фракціонуванням нафти або гідруванням бензолу.

На Україні ресурси кам'яновугільного і нафтового бензолу достатньо великі, щоб забезпечити потреби виробництва поліамідних матеріалів, що розвивається. Виходячи з цього останніми роками було проведено багато досліджень після отримання адіпінової кислоти з циклогексану. Зокрема, велася розробка методу отримання адіпінової кислоти окисленням циклогексану киснем повітря і доокисленням продуктів повітряного окислення циклогексану азотною кислотою в адіпінову кислоту.

Аналітичний огляд техніко – економічних поезників доводить, що метод прямого окислення циклогексану киснем повітря є найбільш вигідним в порівнянні з іншими промисловими методами.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

Адіпінову кислоту отримують з циклогексану двохстадійним методом. У першій стадії через рідкий циклогексан, в якому сконцентрований каталізатор нафтенат кобальту, пропускають повітря при 125 – 130 °С і 25 кг/см².

Процес закінчується коли ступінь конверсії циклогексану досягає 8 – 10 %. Циклогексан, що не прореагував, відганяють. Маслоподібні продукти реакції, що залишилися, направляють в другий реактор і розчиняють в оцетовій кислоті. До розчину додають каталізатор – суміш ацетатів міді і марганцю. Через реакційну суміш при 80 – 85°С і 7 кг/см² пропускають повітря, внаслідок чого циклогексанол і циклогексанон окислюють до адіпінової кислоти [1].

Із-за утворення багатьох побічних продуктів і за рахунок згорання в СО₂ вихід адіпінової кислоти не перевищує 40%.

Продуктивнішим методом є окислення азотною кислотою продуктів повітряного окислення циклогексану. При цьому, для отримання адіпінової кислоти можна використовувати як сировину чистий циклогексанол і циклогексанон, виділені з продуктів окислення циклогексану, їх суміш, а так само сиру суміш продуктів окислення циклогексану повітрям заздалегідь відігнавши циклогексан, що не прореагував.

Цей метод прогресивнее чим метод окислення циклогексану азотною кислотою. При такому процесі циклогексан окислюється азотною кислотою при температурі не нижче 100 °С, а вихід адіпінової кислоти не перевищує 50 %.

По цих причинах в промисловості найбільшого поширення набув двохстадійний процес:

- перша стадія це окислення циклогексану повітрям в суміш циклогексанолу і циклогексанону;
- друга стадія це подальше їх окислення азотною кислотою в адіпінову кислоту.

В процесі окислення протікають побічні реакції глибшої деструкції циклогексанолу з освітою глутаровою, янтарною щавлевою кислот.

Щоб не відбувалося реакції нітрації, застосовують 57 – 62 % азотну кислоту, а одним з найбільш ефективним каталізаторів є 2-5% - й водний розчин нітрату міді і метаванадату амонія. У присутності такого каталізатора вихід адіпінової кислоти досягає 93%.

У крупних промислових установках процес ведуть в двох реакторах, встановлених послідовно. Температуру в першому реакторі підтримують – 70 °С, у другому ~ 100°С. Щоб уникнути місцевих підвищень концентрації реагентів в першому реакторі необхідна ефективна інжекція органічної сировини, а так само циркуляція реакційної сировини розчину через реактор з швидкістю, що забезпечує турбулентність потоку. Практично співвідношення циркулюючої суміші і кількості органічної сировини, що подається на окислення, досягає 50:1.

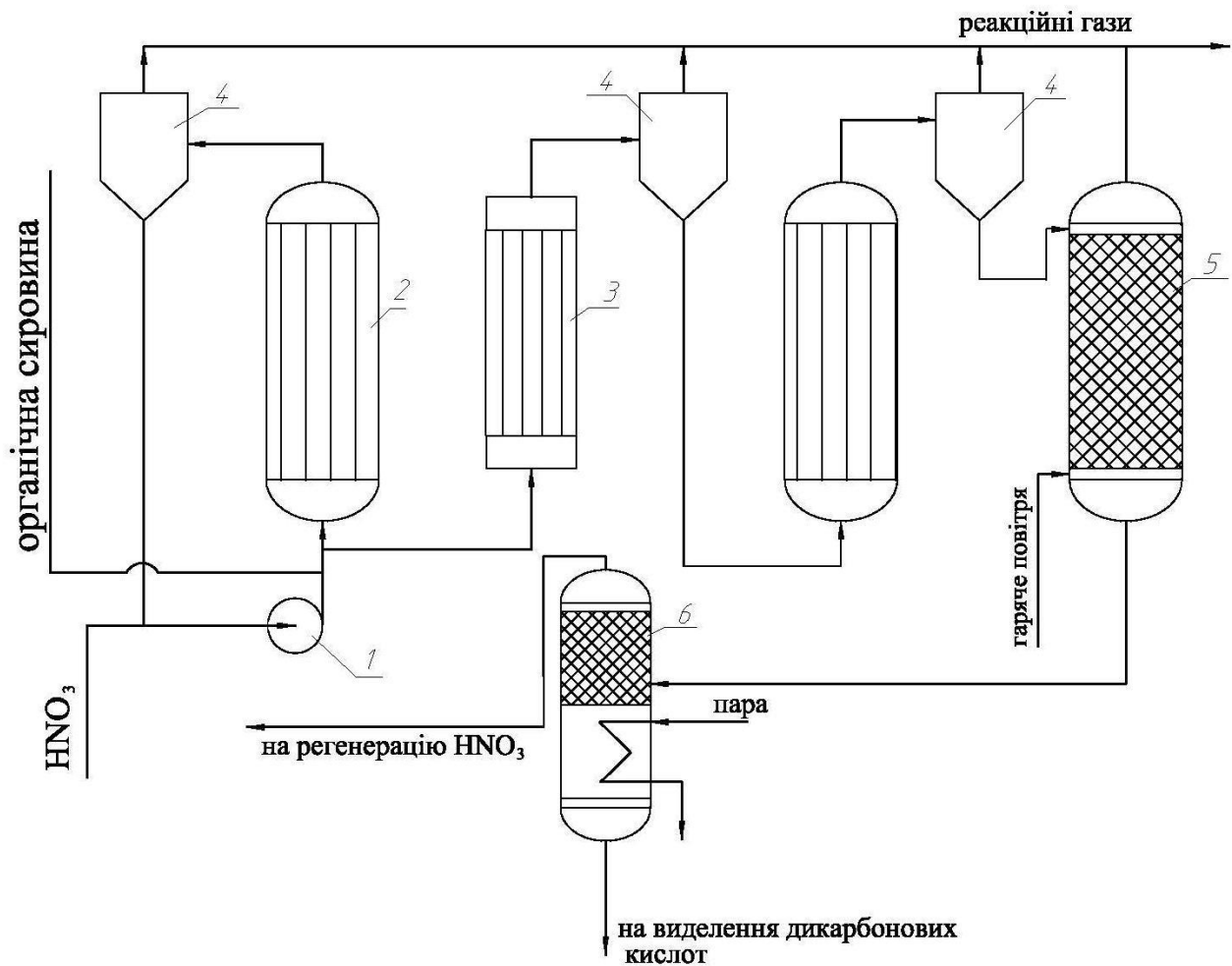
Для підтримки постійних оптимальних умов реакції (температура, концентрація і ін.) необхідне інтенсивне перемішування реакційної суміші.

Для забезпечення хорошої концентрації азотної кислоти з реакційних газів і з рідких продуктів реакції необхідне можливо повніше виділення нітрозних газів. Для чого після реакторів вмонтовують отдувочную колону [2].

Для збільшення виходу адіпінової кислоти і поліпшення абсорбції оксидів азоту з реакційних газів доцільне застосування підвищеного тиску в реакторах окислення.

Інтенсивне перемішування реакційної суміші важливе для забезпечення безпечного проведення процесу, а так само для поліпшення умов відведення тепла реакції. В разі освіти в реакторі застійних зон або шарів органічної сировини, що не прореагувала, можуть виникати вогнища надзвичайно реакцій тих, що не піддаються, що бурхливо розвиваються, регулюванню. При інтенсивному перемішуванні що тепло виділяється в основному в зоні змішення окислювача з органічною сировиною, більш рівномірно розповсюджується за всім обсягом реактора.

Якщо продуктивність установки перевищує 1 т/ч адіпінової кислоти, рекомендується застосовувати трубчасті реактори, біля яких поверхня теплообміну велика порівняно до реакційного об'єму, що має первинне значення при здійсненні реакції з великим виділенням тепла.



1 – циркуляційний насос; 2 – реактори; 3 – нагрівачі; 4 – сепаратори; 5 – десорбер; 6 – колона концентрації.

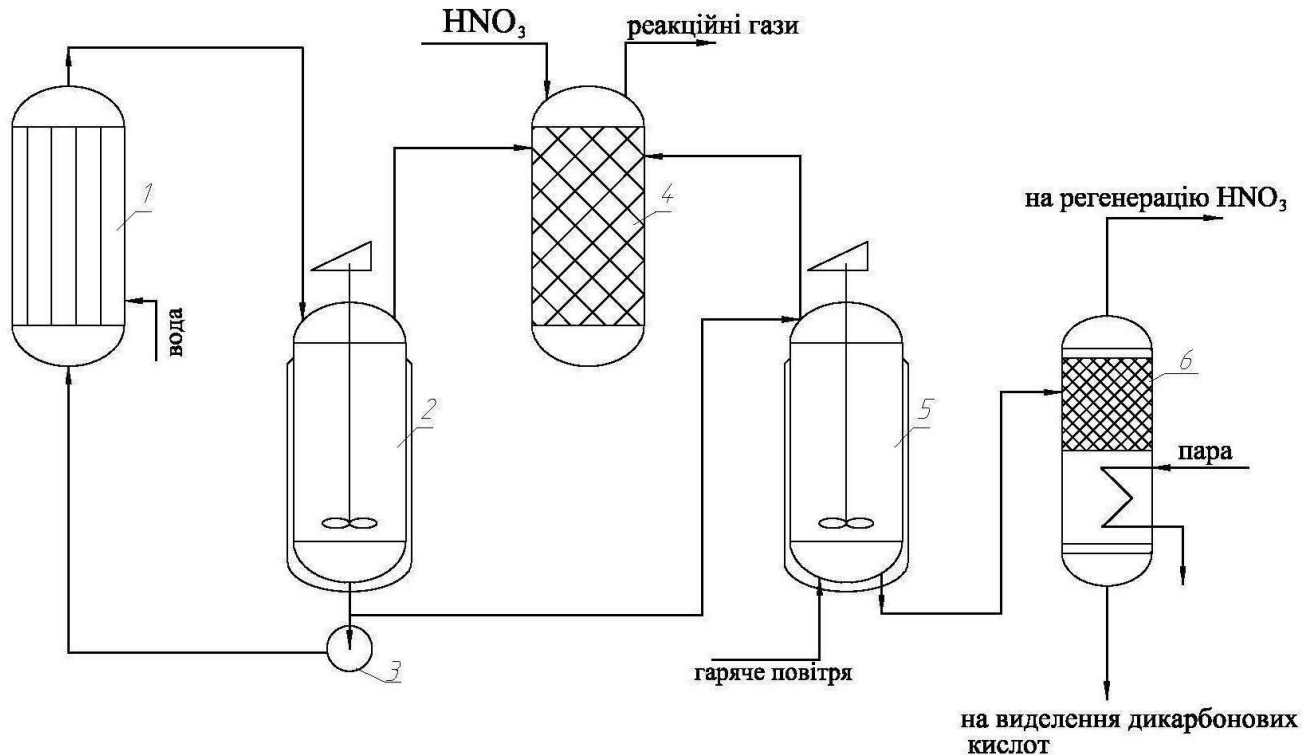
Рисунок 1.1 – Схема установки з двома трубчастими реакторами для проведення процесу під тиском 2 – 5 атм

Перший і другий реактори з'єднані послідовно. Перший реактор забезпечений циркуляційним контуром по якому реакційна суміш рухається із швидкістю, що забезпечує турбулентність потоку в реакторі. Свіжі реагенти доцільно вводити в циркуляційний потік в різних точках контура.

Для хорошого відокремлення газу від рідини, реактори забезпечені ефективними сепараторами. Сепарація газу покращується при проведенні процесу окислення під підвищеним тиском. Якщо кількість реакційних газів велика, то при тиску 3 атм сепарація газу може бути сильно ускладнена [3].

При підвищенні тиску об'єм газів значно скорочується, і крім того, деяка частина газів залишається розчиною в реакційній суміші. Ці чинники в помітній

мірі полегшують розділення рідин і газоподібною фаз, особливо після реактора першого ступеня. Слід однак мати на увазі, що в наслідку збільшення розчинності газу в реакційній суміші при підвищеному тиску потрібна ефективніша отдувка нітрозних газів в отдувочній колоні.



1- трубчастий холодильник; 2-реактор першого ступеня; 3-циркуляційний насос; 4-абсорбер; 5-реактор другого ступеня; 6-колона концентрування.

Рисунок 1.2 – Каскадна окислювальна установка високої продуктивності

На рис. 1.2 реактор першого ступеня обладнаний циркуляційним контуром, до складу якого входить трубчастий холодильник для відведення тепла реакції.

Діаметр автоклава має бути таким, аби лінійна швидкість газу, що відходить, не перевищувала 150 м/г якщо процес ведеться при тиску близькому до атмосферного. Серйозним недоліком такої схеми є те, що напрям руху реакційних газів, що виділяються, протилежний руху циркулюючого реакційного потоку. В результаті утворюється газо-рідинна емульсія з низькою щільністю. Газ, що

виділяється з реактора, відносить у вигляді туману значну кількість азотної кислоти і води.

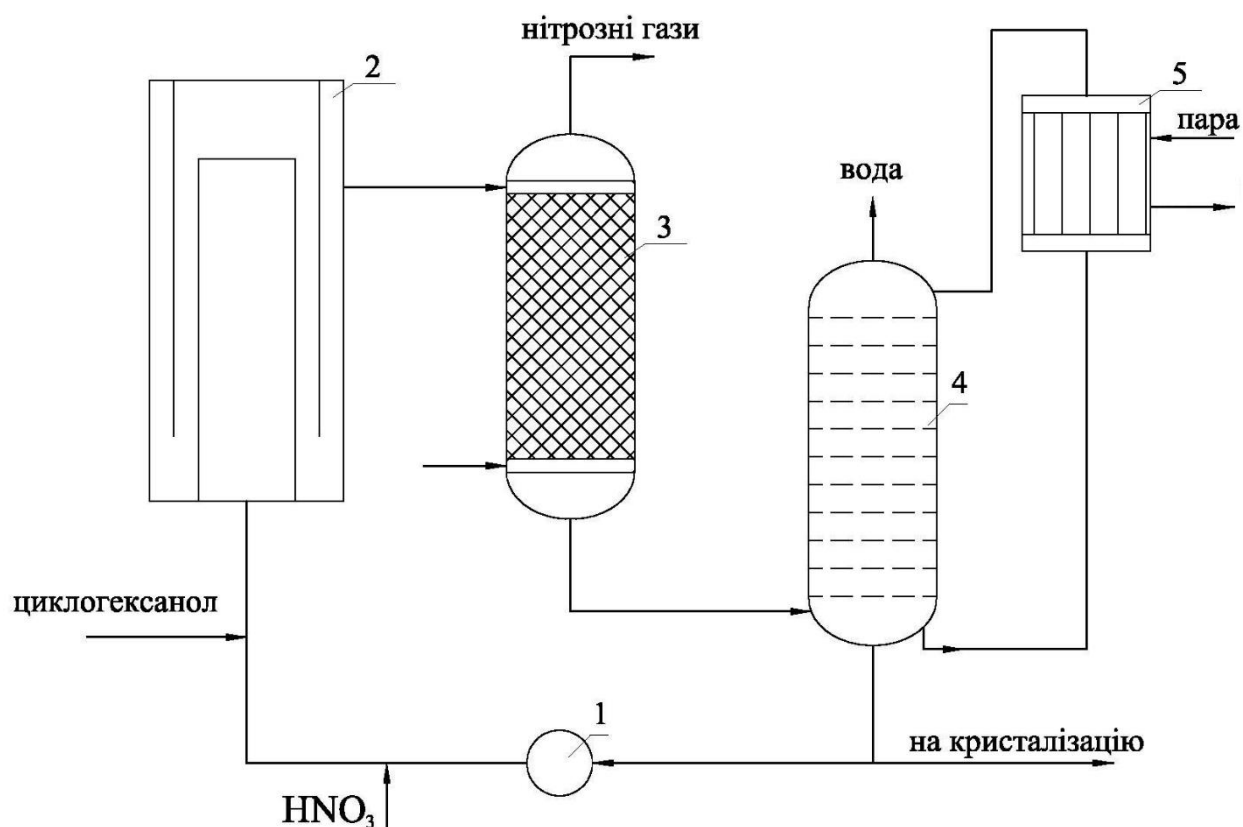
Вихід адіпінової кислоти на установках тих, що працюють по схемах зображеним на рисунках 1.1 і 1.2 може перевищувати 90%.

У першому трубчастому реакторі (рис 1.1) реакція відбувається за 5 – 10 хвилин не менше ніж на 90%. Такий же ступінь перетворення може бути досягнута і в першому автоклаві (рис. 1.2), за один прохід реагентів, хоча спільна тривалість їх контакту в циркуляційному контурі може складати близько 1 години. Повне завершення процесу в обох випадках здійснюється в реакторі другого ступеня. Реакційна суміш що надходить із першого реактора, містить адіпінову кислоту, невелику кількість побічних продуктів (в основному глутарову і янтарну кислоти), а так само проміжні сполуки що не встигли прореагувати в першому реакторі. Циклогексанол і циклогексанон в першому реакторі розчиняються повністю. Завершення реакції необхідне не лише для досягнення максимального можливого виходу адіпінової кислоти, але головним чином, для забезпечення її чистоти. Присутність же проміжних сполук, що не прореагували, в реакційних розчинах утрудняє подальше очищення адіпінової кислоти, виділених з таких розчинів.

Отдувку нитрозних газів, розчинених в реакційному розчині, проводять в отдувочній колоні.

Верхня частина колони заповнена кільцями Паля і служить сепаруючим об'ємом. Для отдувки розчинених газів на 1 м^3 реакційного розчину потрібно подавати 30 ... 50 л повітря, нагрітого до $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Недоліком двох вище перерахованих реакторів є наступне, у будь-якому випадку це два послідовно з'єднаних апарати, вони металоємні (особливо трубчастий), складні в обслуговуванні і ремонті, але основним технічним недоліком є їх частий вихід з ладу унаслідок кристалізації адіпінової кислоти на стінках, а отже необхідність частого пропарювання і чищення. Частково ці недоліки були усунені впровадженням в промисловість нового реактора спеціальної конструкції, так званий апарат типу “стакан в стакані”. Схема установки з цим реактором зображена на рисунку 1.3.



1- циркуляційний насос; 2-реактор; 3-колонна отдувки; 4-колона концентрації; 5 -кипятильник.

Рисунок 1.3 – Вдосконалена окислювальна установка високої продуктивності

Циркуляційний розчин з температурою 65 – 75 °С подається в інжектор де змішується з циклогексаноном і подається безпосередньо в реактор. У реакторі відбувається окислення при температурі 75 – 88 °С, при якому відбувається інтенсивне перемішування. З реактора реакційний розчин подається в колону отдувки нітрозних газів, де продувається атмосферним повітрям. Відведення тепла відбувається за рахунок випару реакційної води в колоні концентрації. У промисловості застосовуються колонні апарати призначені для проведення процесів тепло – масообміну (абсорбція, десорбція) [4].

Колонні апарати виготовляються діаметром 400 – 4000 мм:

- для роботи під тиском до 16 кгс/см² (1,6 Мпа) – в царговом виконання корпусу;

- для роботи під тиском до 40 кгс/см^2 (4.0 Мпа), під атмосферним тиском або під вакуумом (із залишковим тиском не нижче 10 мм. рт. ст.) – суцільнозварного виконання корпусу.

Абсорбери і десорбери діаметром 400 – 4000 мм оснащуються стандартними контактними і розподільними тарілками, опорними ґратами для апаратів насадок, опорами, люками, поворотними пристроями, днищами і фланцями [5].

Колонні апарати діаметром 1000 – 2800 мм з насипною насадкою виготовляють з суцільнозварними корпусами і знімною кришкою. Для рівномірного розподілу рідини по поверхні насадки апарати оснащені розподільними тарілками типу ТСН-3 і перерозподільними типу ТСН-2. Кожен ярус насадки спирається на опорні ґрати. Для кожного ярусу насадки на корпусі є два люки діаметром 500 мм кожен.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування вибраного методу виробництва та обладнання

В аналітичному огляді розглянуті різні способи отримання адіпінової кислоти, а саме методи:

- окислення циклогексанолу азотною кислотою;
- двохстадійний метод окислення циклогексанолу повітрям і оцетовою кислотою;
- двохстадійний метод окислення циклогексанолу і циклогексану повітрям, а потім азотною кислотою;

Робимо висновок, що найбільш ефективним є двохстадійний метод окислення циклогексанолу і циклогексану повітрям, а потім азотною кислотою. Даний метод більш продуктивно попередніх і менш трудомісткий. Вихід адіпінової кислоти досягає 93%.

Розробляючи колону для заданого технологічного процесу ми враховуємо, що оксиди азоту, що віддуваються повітрям потрапляють в колону абсорбції і абсорбуються в азотну кислоту, яка потім змішується зі свіжою кислотою. Приймаючи дану обставину до уваги, встановлюємо в апараті стандартні сітчастий відбійник і розподільну тарілку ТСН-3.

Повітря, що витісняє оксиди азоту, піднімаючись вгору проходить через сітчастий відбійник і з парами води, нітрозних газів спрямовується в трубопровід, звідки поступає на абсорбцію.

Така отдувочная колона легка в експлуатації, забезпечує якісну отдувку нітрозних газів і скорочує втрати по азотній кислоті.

2.2 Опис технологічної схеми виробництва

Цех органічних кислот по виробництву адіпінової кислоти (АДК), входить до складу виробництва органічних продуктів з ароматичної сировини [6].

Адіпінова кислота виходить методом окислення циклогексанолу або анолона (суміші циклогексанолу і циклогексанону) азотною кислотою, у присутності катализатора (суміші метаванадату амонія і нітрату міді) при температурі 75 -90⁰С і тиску не більше 7 кПа(надлишкове). Процес отримання адіпінової кислоти безперервний і складається з наступних стадій:

- окислення циклогексанолу або анолона;
- кристалізація адіпінової кислоти;
- регенерація азотної кислоти і виділення суміші дикарбонових кислот;
- сушка адіпінової кислоти;
- нейтралізація стічних вод.

Для обслуговування цеху є допоміжні стадії, які включають установки по отриманню захоложеної води, склад добової продукції.

Схема стадії окислення циклогексанолу азотною кислотою.

Окислення анола (анолон) азотною кислотою у присутності катализатора нітрату міді і метаванадату амонія відбувається в реакторі при температурі від 75 до 90 °С внизу реактора і від 75 до 89 °С на виході з реактора і тиску верху реактора не більше 7 кПа (700 мм вод.ст.).

Анол (анолон), сумарною витратою 2,4 до 3,3 м³/г подається з трубопроводу в сопло змішувача реактора.

Тиск анола (анолон) в трубопроводі перед соплом змішувача реактора від 1,1 до 2,5 МПа .Основная частка реакційного розчину, минувши колону отдувки оксидів азоту і колону концентрації, об'ємною витратою від 420 до 650 м³/г, насосом подається в сопло змішувача реактора.

Реакція окислення анола (анолон) протікає з виділенням тепла 14330 кДж на 1 кг органічної сировини, що прореагувала. Відведення тепла реакції здійснюється за рахунок повернення в реактор охолодженого розчину з куба колони концентрації з температурою 65-75 °С.

Реакційний розчин з реактора по переливу поступає в колону отдувки повітрям оксидів азоту, заповнену кільцями Паля.

Витрата повітря в колону через фільтр складає 1400-3000 м³/г за нормальних умов за рахунок розрідження, що створюється в колоні турбокомпресором (залишковий тиск верху колони отдувки не менше 7 кПа. Оксиди азоту, що виділяються з реакційного розчину, стискаються турбокомпресором і поступають в колону абсорбції.

В значній мірі, звільнений від оксидів азоту, реакційний розчин з куба колони отдувки поступає в колону ректифікації, що має 10 клапанних тарілок, де відбувається відгін води. Колона працює під вакуумом.

Сокова пара, що виходить з колони, поступає в конденсатори, що охолоджуються оборотною водою. Пари води і інерти, що не сконденсувалися, поступають в хвостовий конденсатор, що охолоджується оборотною або заохолодженою водою.

Конденсат сокової пари з конденсаторів через сепаратор поступає в гідрозасув збірки і потім поступає через трубопровід оборотного виробництва на вузол нейтралізації стічних вод.

З метою скорочення віднесення азотної кислоти з соковою парою, як флегма на 10-у тарілку концентрації передбачена подача глибокообессоленной води в кількості 0 – 2,0 м³/г.

Пари води, що не сконденсувалися, оксиди азоту і інерти в хвостовому конденсаторі вакуумом через сепаратор видаються в колектор слабих нітрозних газів, що працює під вакуумом, і поступають на всас компресора.

Основна кількість флегми 3-8 м³/г, подається із збірки маткового розчину насосом на 9-у або 10-у тарілки колони концентрації.

Куб колони концентрації забезпечений двома титановими випарниками, в які подається пара тиском 0,45 МПа.

Паровий конденсат з випарників поступає в розширювач і, далі, в збірку технологічного конденсату. Конденсат із збірки насосом через фільтр подається в колектор конденсату і використовується для розчинення адіпінової кислоти, а також для промивань комунікацій, насосного і іншого технологічного устаткування. Реакційний розчин з куба колони концентрації, після відгону води і підживлення

свіжої азотною кислотою, об'ємною витратою 420-650 м³/г подається насосом в реактор.

Мета рециркуляції розчину полягає в скороченні втрати адіпінової, азотної кислот і каталізатора.

Частка реакційного розчину насосом об'ємною витратою до 100 м³/г, безперервно подається на вузол вакуумної кристалізації адіпінової кислоти в кристалізатор.

Слабкі нітрозні гази від збірок з робочими розчинами, повітряників фільтрів, повітряників центрифуг поступають в сепаратор, після якого з'єднуються з оксидами азоту, що йдуть з колони отдувки і прямують на всас турбокомпресора. При зупинці турбокомпресора оксиди азоту з колектора слабих нітрозних газів викидаються в атмосферу за допомогою повітряного ежектора.

Оксиди азоту, що поступають на всас турбокомпресора заздалегідь охолоджуються в холодильнику до температури 43-47 °С. Турбокомпресор працює з розрідженням на всасе (тиск всмоктування 0,088-0,092 МПа. Таким чином, вся апаратура стадії окислення працює під деяким розрідженням, що запобігає попаданню оксидів азоту у виробничі приміщення через нещільність апаратури.

Оксиди азоту після компримирования в турбокомпресорі і охолодження з тиском 0,34-0,36 МПа, об'ємною витратою 2800-4900 м³/г за нормальних умов, поступають в колону абсорбції: у колоні встановлені 22 колпачковые тарілки. Абсорбція оксидів азоту в колоні абсорбції здійснюється глибокообессоленной водою, витрата якої 0,8-1,6 м³/г. Для поглинання тепла абсорбції на кожній тарілці змонтовані змійовики, що охолоджують, в які подається оборотна вода.

2.3 Характеристика сировини і готового продукту

Циклогексанол

Циклогексанол випускається згідно СТП 113-03-26-24-91.

Емпірична формула C₆H₁₁ОН

Циклогексанол - безбарвна масляниста рідина або білі мікроскопічні кристали з ефірно –камфорним запахом, токсичний.

Масова доля циклогексанолу %, не менше

98,65

Масова для домішок %, не більш	1,35
у тому числі:	
циклогексанону %, не більш	0,9
води %, не більш	0,1
висококиплячих компонентів %, не більш	0,35
Азотна кислота.	
Азотна кислота випускається згідно ОСТУ 113-03-270-60	
Емпірична формула HNO_3	
Азотна кислота – рідина жовтуватого кольору, з різким задушливим запахом.	
Масова доля азотної кислоти %, не нижче	57,0
Масова доля оксидів азоту %, не більш	
(у перерахунку на N_2O_4)	0,07
Масова доля залишку після прожарення %, не більш	0,004
Масова доля золи %, не більш	0,0025
Масова доля заліза %, не більш	0,001
Суміш дикарбонових кислот	

Це побічний продукт виробництва адіпінової кислоти, що є кристалічною лускатою речовиною, від зеленого до сірого кольору (2-й сорт) і від ясно-бежевого до світло-коричневого кольору (1-й сорт). Суміш дикарбонових кислот другого сорту виходить шляхом упарювання і подальшої кристалізації маткового розчину, а першого сорту шляхом очищення суміші дикарбонових кислот на іонообмінних апаратах з подальшим упарюванням і кристалізацією.

Суміш дикарбонових кислот може бути використана як компонент при виробництві бетону, а також як сировина в хімічній промисловості для отримання янтарної і глутарової кислот.

Кристалічна адіпінова кислота відповідає наступним вимогам:

№	Найменування показника	Вимоги ГОСТ 10558-80 з. 1-3: I сорт	Вимоги ГОСТ 10558-80 з. 1-3: вищий сорт	Покращувана Ту.У6-05761672.17 8-98
1	Зовнішній вигляд	Біла кристалічна речовина		
2	Масова доля адипінової кислоти %не менш	99,7	99,7	99,8
3	Кольоровість розчину по платиново-кобальтовій шкалі, од. Хазена, не більш	20	5	2,5
4	Температура плавлення, °С, не менше	151,0	151,5	152,0
5	Масова частка води %, не більш	0,30	0,27	0,18
6	Масова частка золи %, не більш	0,005	0,003	0,0015
7	Масова частка азотної кислоти %, не більш	0,008	0,001	0,0003
8	Масова частка заліза %, не більш	0,0003	0,0001	0,00005
9	Масова частка окислюваних речовин в перерахунку на щавлеву кислоту %, не більш	0,007	0,006	0,004
10	Кольоровість розплаву по платиново-кобальтовій шкалі, од. Хазена, не більш	Не нормується	50	35

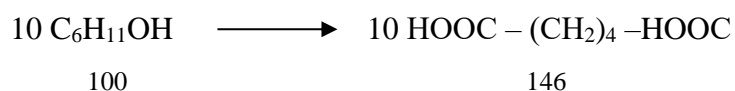
2.4 Матеріальний баланс

Матеріальний баланс стадії окислення циклогексанолу у виробництві адипінової кислоти потужністю 46 000 т/рік.

При заданій потужності виробництва, приймаючи в розрахунок 330 робочих днів в році, визначимо годинну потужність виробництва [4]:

$$\frac{46000 \cdot 1000}{330 \cdot 24} = 5808 \text{ кг/г.}$$

Реакція утворення адипінової кислоти з циклогексанолу відповідає наступному стехіометричному співвідношенню:



де 100 і 146 – молекулярні ваги відповідно циклогексанолу і АДК

Добова витрата циклогексанолу складе:

$$5808 \cdot \frac{100}{146 \cdot 0,98} = 4053 \text{ кг/Г.}$$

де 0,98 – вихід адіпінової кислоти від теоретичного, згідно даним виробничого регламенту.

Склад технічного циклогексанолу:

циклогексанол....99,65%;

циклогексанон....0,9%;

вода.....0,1%;

домішки.....0,35%.

Добова витрата технічного циклогексанолу:

$$\frac{4053}{0,9965} = 4067 \text{ кг/Г.}$$

Ваговий склад 4067 кг технічного циклогексанолу:

циклогексанол.... $4067 \cdot 0,9965 = 4053$ кг;

циклогексанон.... $4067 \cdot 0,009 = 36,6$ кг;

вода..... $4067 \cdot 0,001 = 4,1$ кг;

домішки..... $4067 \cdot 0,0035 = 14,22$ кг

За виробничим регламентом на кожних 500 кг технічного циклогексанолу витрачається 2200 кг неконцентрованої азотної кислоти, яка містить 57% азотної кислоти і 43% вод.

При обчисленій витраті циклогексанолу буде потрібно наступну кількість азотної кислоти:

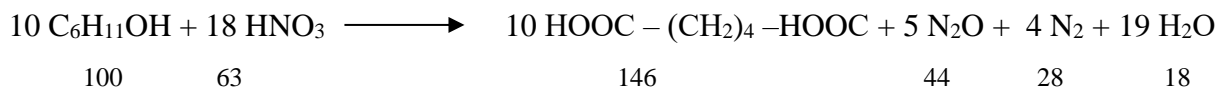
$$2200 \cdot \frac{4067}{500} = 17895 \text{ кг}$$

Ваговий склад азотної кислоти:

азотна кислота.... $17895 \cdot 0,57 = 10200$ кг;

вода..... $17895 \cdot 0,43 = 7695$ кг

Процес окислення циклогексанолу відповідає стехіометричному рівнянню:



Згідно цьому рівнянню, при окисленні 4067 кг циклогексанолу утворюється:

адіпінової кислоти..... $4067 \cdot \frac{146}{100} = 5938$ кг;

води..... $4067 \cdot \frac{18 \cdot 19}{100 \cdot 10} = 1390$ кг;

азоту..... $4067 \cdot \frac{28 \cdot 4}{100 \cdot 10} = 456$ кг;

оксиду азоту..... $4067 \cdot \frac{44 \cdot 5}{100 \cdot 10} = 895$ кг

Спільний вміст води в реакційній масі в кінці процесу:

$1390 + 7695 + 4,1 = 9089,1$ кг

При окисленні циклогексанолу (анолона) азотною кислотою відбуваються побічні реакції з утворенням нижчих дикарбонових кислот.

Реакція утворення нижчих дикарбонових кислот йде через утворення на проміжних стадіях реакції циклогексанолу, 2,6-динитродинитрозоциклогексанона і циклогексендіона. Розрахунок аналогічний попередньому.

Виділення оксидів азоту і вуглекислоти пов'язане з утворенням суміші дикарбонових кислот.

Застосування мідно-ванадієвого каталізатора дозволяє змістити рівновагу реакції окислення циклогексанолу (анолона) азотною кислотою у бік утворення адіпінової кислоти, при 100%-ном перетворенні циклогексанолу або анолона.

Частина розчину адіпінової кислоти з циклу окислення безперервно подається на вакуумну кристалізацію. Для отримання кристалічної адіпінової кислоти, що відповідає вимогам за якістю, проектом передбачена двоступінчата перекристалізація адіпінової кислоти з водних розчинів.

Суміш дикарбонових кислот у вигляді розчину постійно виводиться з циклу окислення циклогексанолу (анолону) і прямує на стадію регенерації азотної кислоти, де азотна кислота отгоняється і повертається в цикл окислення, а суміш дикарбонових кислот, після очищення від смол, солей міді і ванадію на іонообмінних фільтрах виділяється у вигляді кристалів і прямує на склад готової продукції, де як товарний продукт розфасовується в мішки. Що виділяються, в процесі регенерації іонообмінних фільтрів, солі міді і ванадію повертаються в цикл окислення.

Результати матеріального розрахунку стадії окислення зведені в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 Розрахунок матеріального балансу стадії окислення

Прихід	кг/г	Витрата	кг/г
1. Циклогексанол технічний		1. Реакційний розчин у тому числі:	
у тому числі:	2724,2	адіпінова кислота	3991,3
циклогексанол	24,6	дикарбонові кислоти у тому числі	
циклогексанон	2,7	щавлева кислота	107,8
вода	9,6	глутарова кислота	101,7
домішки		янтарна кислота	51,4
азотна кислота технічна, у тому числі:	6700,5	закис азоту	53,1
азотна кислота	5054,8	оксид азоту	1505,3
вода	14513,6	діоксид азоту	2320
Всього		вода	5992,4
		діоксид вуглецю	72,3
2. Циркуляційний розчин		азот	306,2
у тому числі:	134545	домішки	9,4
адіпінова кислота	283033	Всього	14456,8
азотна кислота	211229		
вода		2. Циркуляційний розчин	
дикарбонові кислоти в перерахунку на глутарову кислоту	1394	у тому числі:	
		адіпінова кислота	134545
		азотна кислота	283033
		вода	211229
		дикарбонові кислоти в перерахунку на глутарову кислоту	1394
РАЗОМ	715188	РАЗОМ	715188

2.5 Технологічний розрахунок

2.5.1 Розрахунок насадки колони

У колоні насадки необхідно визначити її діаметр і висоту шару насадки [4].

Характеристика насадки, що приймається:

Як насадка приймаємо металеві кільця Паля розміром 50x50x1;

ε – вільний об'єм насадки; $\varepsilon = 0,9 \text{ м}^3/\text{м}^3$;

a – питома поверхня насадки; $a = 108 \text{ м}^2/\text{м}^3$;

P – маса 1 м^3 насадки; $P = 455 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Розрахунок колони для роботи при оптимальному гідродинамічному режимі роботи.

Робоча швидкість газу в колоні:

$$W = (0,6 \div 0,85)W_{инв} \quad (2.1)$$

де $W_{инв}$ – швидкість газу в точці інверсії фаз, відповідна виникненню режиму емульгування (вважаючи на повний переріз колони), визначається з рівняння:

$$\lg \left[\frac{W_{инв}^2 \cdot a \cdot \rho_g \cdot \mu_{ж}^{0,16}}{g \cdot \varepsilon^3 \cdot \rho_{ж}} \right] = A - C \left(\frac{L}{G} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\rho_g}{\rho_{ж}} \right)^{\frac{1}{8}} \quad (2.2)$$

де ε – вільний об'єм насадки, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

a – питома поверхня насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$;

ρ_g і $\rho_{ж}$ – щільність газу і рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$\rho_g = 1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\rho_{ж} = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$; \leq

g – прискорення вільного падіння, $\text{м}/\text{с}^2$;

L, G – навантаження на колону по рідині і газу, $\text{кг}/\text{г}$;

$\mu_{ж}$ – в'язкість рідини, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

$\mu_{ж} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$;

A, C – коефіцієнти;

за літературними даними приймаємо $A = 0,022$; $C = 1,75$.

$$\lg \left[\frac{W_{инв}^2 \cdot 108 \cdot 1,2 \cdot 0,0004^{0,16}}{9,81 \cdot 0,9^3 \cdot 1200} \right] = 0,022 - 1,75 \left(\frac{715188}{2400} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{1,29}{1200} \right)^{\frac{1}{8}}$$

$$\lg(0,0042 \cdot W_{\text{инг}}) = -2,921$$

$$W_{\text{инг}} = 0,53 \text{ м/с.}$$

Робоча швидкість

$$W = 0,6 \cdot 0,53 = 0,318 \text{ м/с.}$$

Необхідний діаметр колони знаходимо по формулі:

$$D = \sqrt{\frac{V_z}{0,785 \cdot W}} \quad (2.3)$$

де V_z - витрата газу, що проходить по колоні, м³/с.

$$D = \sqrt{\frac{0,555}{0,785 \cdot 0,318}} = 1,49 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартне значення діаметру колони рівним 2000 мм і уточнюємо швидкість газу в колоні:

$$W = \frac{V}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,555}{0,785 \cdot 2^2} = 0,18 \text{ м/с.}$$

Визначаємо висоту насадки.

Знаходимо рушійну силу процесу внизу колони.

Парціальний тиск нітрозних газів на вході в колону знаходимо по формулі:

$$P_H = \frac{(n_{N_2O})_H}{100} \cdot P \quad (2.4)$$

$$P_H = \frac{52}{100} \cdot 7,016 = 3,65 \text{ кПа.}$$

Парціальний тиск нітрозних газів, відповідний x_K .

$$P_{H.P} = 0,9 \cdot P_H$$

$$P_{H.P} = 0,9 \cdot 3,65 = 3,29 \text{ кПа.}$$

Рушійна сила внизу колони.

$$\Delta P_H = P_H - P_{H.P} \quad (2.5)$$

$$\Delta P_H = 3,65 - 3,29 = 0,36 \text{ кПа.}$$

Визначаємо рушійну силу процесу десорбції зверху колони.

Парціальний тиск нітрозних газів в газі, що виходить.

$$P_{II} = 0,02 \cdot P_{II} = 0,02 \cdot 3,65 = 0,073 \text{ кПа.}$$

$P_{п.р} = 0$, оскільки на отдувку подається чисте повітря.

Рушійна сила процесу десорбції на верху колони

$$\Delta P_{п} = 0,073 - 0 = 0,073 \text{ кПа}.$$

Знаходимо середню рушійну силу як середнє логарифмічне значення:

$$\Delta P_{ср} = \frac{\Delta P_{н} - \Delta P_{п}}{2,31 \lg \frac{\Delta P_{н}}{\Delta P_{п}}} \quad (2.6)$$

$$\Delta P_{ср} = \frac{0,36 - 0,073}{2,31 \lg \frac{0,36}{0,073}} = 0,183 \text{ кПа}.$$

Коефіцієнт масопередачі визначається по формулі:

$$\hat{E}_D = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{1}{\beta_x}} \quad (2.7)$$

де β_x – коефіцієнт масоотдачі з боку рідини;

β_y – коефіцієнт масоотдачі з боку газу;

Ψ – константа рівняння.

Коефіцієнт масоотдачі для газової фази визначають з рівнянь:

$$Nu = 0,027 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad (2.8)$$

Де критерій Рейнольдса для рідини

$$Re = \frac{4 \cdot W \cdot \rho_z}{a \cdot \mu_z} \quad (2.9)$$

де $\mu_z = 0,0195 \text{ Па} \cdot \text{с}$ – в'язкість рідини N_2O при 20°C .

$$Re = \frac{4 \cdot 0,18 \cdot 1,2}{108 \cdot 0,0195 \cdot 10^{-3}} = 410,3$$

$$Pr = \frac{3600 \cdot \mu_z}{\rho_z \cdot D_1} \quad (2.10)$$

де D_1 – коефіцієнт дифузії.

$$D_1 = D_2 \cdot \frac{P_0}{P} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (2.11)$$

$$D_2 = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot T^{\frac{3}{2}}}{P \cdot \left(V_{\text{CO}_2}^{\frac{1}{3}} + V_{\text{N}_2\text{O}}^{\frac{1}{3}} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_{\text{CO}_2}} + \frac{1}{M_{\text{N}_2\text{O}}}} \quad (2.12)$$

де T – температура, К;

P – тиск (абсолютний), ат;

M_{CO_2} і $M_{\text{N}_2\text{O}}$ - молекулярні маси газів;

V_{CO_2} і $V_{\text{N}_2\text{O}}$ - молекулярний об'єм газів визначуваний як сума атомних об'ємів елементів, що входять до складу газу.

$$D_2 = \frac{4,3 \cdot 10^{-7} \cdot 293^{\frac{3}{2}}}{0,0713 \cdot \left(29,9^{\frac{1}{3}} + 36,4^{\frac{1}{3}} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{29} + \frac{1}{44,01}} = 1,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Визначуваний D_1 :

$$D_1 = 1,76 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{760}{52,63} \left(\frac{293}{273} \right)^{\frac{3}{2}} = 2,82 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Знаходимо значення Pr по формулі:

$$Pr = \frac{3600 \cdot 0,0195}{1,2 \cdot 2,82 \cdot 10^{-3}} = 20,7$$

Знаходимо коефіцієнт массоотдачі

$$Nu = 0,027 \cdot 410^{0,8} \cdot 20,7^{0,33} = 9,05$$

З вираження критерії Нуссельта знаходимо значення β_y :

$$\beta_y = \frac{Nu_2 \cdot \rho_2 \cdot D_1}{d_3 \cdot P \cdot M_2} \quad (2.13)$$

де d_3 - ефективний діаметр насадки;

$$d_3 = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a} = \frac{4 \cdot 0,9}{108} = 0,033 \text{ м}.$$

$$M_2 = \frac{2266}{3000 + 1,8} = 0,78 \text{ кг/моль}$$

$$\beta_y = \frac{9,05 \cdot 1,2 \cdot 2,82 \cdot 10^{-3}}{0,033 \cdot 0,007 \cdot 0,78} = 3004 \frac{\hat{e} \hat{i} \hat{e} \hat{i}}{\hat{i}^2 \cdot \hat{a}}$$

Коефіцієнт массоотдачі для рідкої фази знаходять з рівняння:

$$Nu_{жс} = 0.00595 \cdot Re_{жс}^{0.67} \cdot Pr^{0.33} \cdot Ga^{0.33} \quad (2.14)$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{жс} = \frac{4 \cdot L}{a \cdot \mu_{жс}} \quad (2.15)$$

де

$$L = \frac{G_x}{3600 \cdot S} \quad (2.16)$$

G_x – кількість розчину, що подається за годину;

$G_x = 715188$ кг/год;

S – площа перетину колони, м²; $S = 3,14$ м².

$$L = \frac{715188}{3600 \cdot 3,14} = 63,3 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

$$Re_{жс} = \frac{4 \cdot 63,3}{108 \cdot 0,0004} = 5858.$$

Визначуваний критерій Прандтля.

$$Pr_{жс} = \frac{3600 \cdot \mu_{жс}}{\rho_{жс} \cdot D_{жс}} \quad (2.17)$$

де $D_{жс}$ – коефіцієнт дифузії в рідині.

$$D_{жс} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{AB \cdot \sqrt{\mu_{жс}} \left(V_A^{\frac{1}{3}} + V_B^{\frac{1}{3}} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} \quad (2.18)$$

де A і B – коефіцієнти, залежні від властивостей розчиненої речовини і розчинника;

$A=4,7$ – вода;

$B=1$ – при дифузії газів, розчинених у воді;

M_A і M_B - молекулярні маси розчиненої речовини і розчинника;

M_A – молекулярна маса HNO_3 ; $M_A=63$;

M_B – молекулярна маса H_2O ; $M_B=18,9$;

V_A і V_B - молекулярний об'єм рідини;

μ – в'язкість рідини, Па·с.

$$D_{жс} = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 4,7 \cdot \sqrt{0,0004} \left(36,9^{\frac{1}{3}} + 14,8^{\frac{1}{3}} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{63} + \frac{1}{18,9}} = 8,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$$

Критерій Прандтля

$$Pr_{жс} = \frac{3600 \cdot 0,0004}{1200 \cdot 8,3 \cdot 10^{-8}} = 14390$$

Визначуваний критерій Галілея:

$$Ga = \frac{d_{нар}^3 \cdot \rho_{жс}^2 \cdot g}{\mu_{жс}^2} \quad (2.19)$$

де $d_{нар}$ - зовнішній діаметр насадки;

$$Ga = \frac{0,05^3 \cdot 1200^2 \cdot 9,81}{0,0004^2} = 1,1 \cdot 10^7$$

Знаходимо критерій Нуссельта:

$$Nu_{жс} = 0,00595 \cdot 5858^{0,67} \cdot 14930^{0,33} \cdot (1,1 \cdot 10^7)^{0,33} = 9,89 \cdot 10^3$$

З вираження критерію Нуссельта визначимо:

$$\beta_x = \frac{Nu_{жс} \cdot D_{жс}}{d_{\text{э}}} \quad (2.20)$$

$$\beta_x = \frac{9,89 \cdot 10^3 \cdot 8,3 \cdot 10^{-8}}{0,033} = 0,025 \frac{\hat{e} \hat{i} \hat{e} \hat{i}}{\hat{i}^2 \cdot \hat{a}}$$

Спільний коефіцієнт масопередачі:

$$K_p = \frac{1}{\frac{1}{\beta_y} + \frac{\Psi}{\beta_x}} = \frac{1}{\frac{1}{3004} + \frac{0,391}{0,025}} = 0,063$$

Висота насадки визначається по формулі:

$$H_H = \frac{G}{a \cdot S \cdot K_p \cdot \Delta P_{cp}} \quad (2.21)$$

де G – кількість розчину, що подається, кмоль/год;

$$G = 33,72 \text{ кмоль/г.}$$

$$S \text{ – площа перетину колони, м}^2; S = 3,14 \text{ м}^2.$$

$$H_H = \frac{33,72}{108 \cdot 3,14 \cdot 0,063 \cdot 0,183} = 7,64 \text{ м}$$

Остаточно приймаємо висоту насадки $H = 8 \text{ м}$.

2.6 Гідравлічний опір колони

Гідравлічний опір визначимо по рівнянню [4]:

$$\Delta P_{нас} = \lambda \cdot \frac{H_{нас}}{d_{экв}} \cdot \frac{W^2}{2} \cdot \rho_2 = \lambda \cdot \frac{H_{нас} \cdot \sigma \cdot W^2}{8\varepsilon^3} \cdot \rho_2, \text{ Н/м}^2 \quad (2.22)$$

де λ – коефіцієнт опору зрошеної насадки;

для кілець Паля 50x50x1 $\lambda_{сух}=3,0$;

$\lambda = \lambda_{сух} \cdot m$

$\lambda_{сух}$ – коефіцієнт опору сухої насадки;

m – коефіцієнт зрошування.

W - швидкість віднесена до повного переріза колони;

За розрахункову швидкість приймаємо $W = 0,18$ м/с.

Значення Re_2 по рівнянню (2.9):

$$Re = \frac{4 \cdot 0,18 \cdot 1,2}{108 \cdot 0,0195 \cdot 10^{-3}} = 410,3$$

при $Re > 40$

$$\lambda_{сух} = \frac{16}{Re_2^{0,2}} \quad (2.23)$$

$$\lambda_{сух} = \frac{16}{(410,3)^{0,2}} = \frac{16}{4,586} = 4,8$$

Коефіцієнт зрошування насадки "m" для металевих кілець визначимо по формулі:

$$m = \frac{1}{(1,13 - 1,43 \cdot A)^3}, \quad (2.24)$$

де

$$A = 3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b}{2g} \left(\frac{L}{\rho_{ж}} \right)^2 \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon^3}}; \quad (2.25)$$

L – щільність зрошування десорбера, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$

$L=63,3$ $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$;

$\rho_{ж}$ - щільність рідини, кг/м^3 ;

$$b = \frac{1,75}{Re_{ж}^{0,3}} \quad (2.26)$$

Значення $Re_{ж}$ по рівнянню (2.15):

$$\text{Re}_{жс} = \frac{4 \cdot 63,3}{108 \cdot 0,0004} = 5858$$

$$b = \frac{1,75}{\text{Re}_{жс}^{0,3}} = \frac{1,75}{5858^{0,3}} = 0,13.$$

$$A = 3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b}{2g} \left(\frac{L}{\rho_{жс}} \right)^2 \cdot \frac{\sigma}{\varepsilon^3}} = 3 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,13}{2 \cdot 9,81} \left(\frac{63,3}{1200} \right)^2 \cdot \frac{108}{0,9^3}} = 0,42.$$

$$m = \frac{1}{(1 - 1,39 \cdot A)^3} = \frac{1}{(1 - 1,39 \cdot 0,42)^3} = 13,8.$$

$$\lambda = \lambda_{сух} \cdot m = 3,0 \cdot 13,8 = 41,6.$$

$$\Delta P_{кол} = 41,6 \cdot \frac{8 \cdot 108 \cdot 0,18^2}{8 \cdot 0,9^3} \cdot 1,2 = 240 \text{ Па.}$$

2.6.1 Визначення діаметру штуцерів

Визначаємо штуцера, через яких проходять матеріальні потоки: штуцера входу-виходу газового потоку і штуцера входу-виходу реакційної суміші.

Діаметр штуцера розраховується по рівнянню постійності витрати:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot W}} \quad (2.27)$$

де V – об'ємна продуктивність, $\text{м}^3/\text{с}$;

W – швидкість руху потоку, $\text{м}/\text{с}$.

Швидкості руху потоку приймаємо орієнтування:

- рідина $W = 1-2,5 \text{ м}/\text{с}$;

- газ $W = 5-20 \text{ м}/\text{с}$.

Штуцер подачі реакційної суміші:

$$d = \sqrt{\frac{V_{жс}}{0,785 \cdot W_{жс}}},$$

приймаємо два штуцери з $W_{жс} = 2,5 \text{ м}/\text{с}$, тоді

$$d = \sqrt{\frac{0,139/2}{0,785 \cdot 2,5}} = 0,188 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\text{Ø} 178 \times 6 \text{ мм}$.

Штуцер подачі газу:

$$d = \sqrt{\frac{V_z}{0.785 \cdot W_z}},$$

приймаємо $W_\Gamma = 15$ м/с, тоді

$$d = \sqrt{\frac{0,8333}{0.785 \cdot 15}} = 0,24 \text{ м.}$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера $\text{Ø}234 \times 7$ мм.

2.7 Тепловий баланс

Початкові дані

G_g – витрата повітря, що поступає в колону, кг/г;

$$G_g = 3600 \text{ кг/г};$$

$G_{p.c}$ – витрата реакційної суміші, кг/г;

$$G_{p.c} = 715188 \text{ кг/г};$$

t_n – початкова температура повітря °С;

$$t_n = 20 \text{ °С};$$

t_k – кінцева температура повітря;

$$t_k = 45 \text{ °С};$$

C_g – питома теплоємність повітря $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

T_n – початкова температура реакційної суміші °С;

$$T_n = 80 \text{ °С};$$

T_k – кінцева температура реакційної суміші °С;

$$T_k = 65 \text{ °С};$$

$C_{p.c}$ – питома теплоємність реакційної суміші знаходимо по формулі:

$$C_{p.c} = \frac{C_{p.1} \cdot 0,396 + C_{p.2} \cdot 0,304 + C_{p.3} \cdot 0,198 + C_{p.4} \cdot 0,0635 + C_{p.5} \cdot 0,0317}{5};$$

$$C_{p.c} = \frac{2,77 \cdot 0,396 + 4,19 \cdot 0,304 + 0,626 \cdot 0,198 + 0,0635 \cdot 0,596 + 0,0317 \cdot 0,601}{5} = 0,5099 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Кількість тепла Q визначається по формулі [4]:

$$Q = G \cdot C \cdot T \quad (2.28)$$

Кількість тепла, що поступає з реакційною сумішшю

$$Q_1 = G_{p.c} \cdot C_{p.c} \cdot T_{p.c}$$

$$Q_1 = 715.188 \cdot 0.5009 \cdot 80 = 29173.9 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\ddot{a}}$$

Кількість тепла, що поступає в колону з повітрям

$$Q_2 = G_g \cdot C_g \cdot T_g$$

$$Q_2 = 3,6 \cdot 1,01 \cdot 20 = 72,72 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\ddot{a}}$$

Кількість тепла реакційної суміші на виході з колони

$$Q_3 = G_{p.c} \cdot C_{p.c} \cdot T_{p.c}$$

$$Q_3 = 715,188 \cdot 0,5099 \cdot 65 = 23703,83 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\ddot{a}}$$

Кількість тепла, що пішло на втрати

$$Q_5 = Q_1 \cdot 0,03$$

$$Q_5 = 29173,9 \cdot 0,03 = 875,21 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\ddot{a}}$$

Кількість тепла на виході повітряної суміші з реакційними газами

$$Q_4 = G_g \cdot C_g \cdot t_g + G_{n.c} \cdot C_{n.c} \cdot t$$

$$Q_4 = 3,6 \cdot 1,01 \cdot 45 + 114,125 \cdot 0,877 \cdot 45 = 4667,58 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\ddot{a}}$$

По умові теплового балансу:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5$$

$$29173,9 + 72,72 = 23703,83 + 875,21 + 4667,58$$

$$29246,62 = 29246,62 \text{ кДж}$$

Умова теплового балансу виконується.

2.8 Розрахунок теплоізоляції колони

Температура середовища в апараті складає 80 °С.

Діаметр апарату $D_n = 1 \text{ м}$. Температура зовнішнього повітря $t_0 = 20^\circ \text{С}$. Апарат розташований на відкритому майданчику [4].

Визначаємо нормативну щільність теплового потоку $q, \text{Вт}/\text{м}^2$ через ізольовану поверхню:

$$q = 50 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Розраховуємо величину R , по рівнянню:

$$R = (t - t_0) / q \quad (2.29)$$

де t – температура продукту $^{\circ}\text{C}$.

$$R = (80 - 15) / 50 = 1,3 \text{ (м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)} / \text{Вт}.$$

З достатньою для кінцевих результатів розрахунку точністю приймаємо $\alpha_n = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Матеріал теплоізоляції апарату приймаємо – плити мінераловатни на синтетичній основі напівжорсткої марки 125.

Визначуваний коефіцієнт $\lambda_{uz}, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, по рівнянню:

$$\lambda_{uz} = \lambda_0 + \frac{b \cdot |t_{вн} - t_n|}{2} \quad (2.30)$$

де $t_{вн}$ – температура внутрішньої поверхні ізоляції, приймаємо рівною температурі середи $t_{вн} = 80^{\circ}\text{C}$.

t_n – температура зовнішньої поверхні ізоляції, $t_n = 35^{\circ}\text{C}$.

λ_0, b – коефіцієнти

$$\lambda_0 = 0,044 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}); b = 0,00021 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

$$\lambda_{uz} = 0,044 + \frac{0,00021 \cdot |80 - 35|}{2} = 0,0487 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

Визначаємо товщину ізоляції по формулі:

$$S_{uz} = \lambda_{uz} \cdot (R - 1/\alpha_n - R_{ст}) \quad (2.31)$$

де $R_{ст}$ – термічний опір стінки об'єкту $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$.

Оскільки матеріал стінки метал, то величину $R_{ст}$ не визначаємо.

$$S_{uz} = 0,0487 \cdot (1,3 - 1/20) = 0,061 \text{ м}.$$

приймаємо

$$S_{uz} = 60 \text{ мм}.$$

3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ І ПРИНЦИП РОБОТИ АПАРАТУ

Корпус віддувочній колони і внутрішні устрої виготовлені із сталі 10X17H13M2T.

Даний колонний апарат призначений для проведення процесу десорбції. Він є сталевим вертикальним суцільнозварним апаратом, що працює під вакуумом. Корпус складається з циліндричної обичайки і еліптичної кришки і днища. Через штуцер А в корпус колони подається повітря, через штуцер В реакційна суміш, збагачена оксидами азоту. Процес здійснюється в результаті контакту нерівноважних потоків газу і рідини. Рідина під дією сили тяжіння рухається вниз, газ піднімається вгору, контакт фаз здійснюється на кільцевій керамічній насадці. Колона оснащена люками для огляду і ремонту колони, а також для завантаження і вивантаження через них в колону внутрішніх устроїв [5,6].

У нижньому днищі вварений патрубок для виходу очищеною від оксидів азоту реакційної суміші. У верхньому днищі вварений патрубок для виходу повітря, збагаченого оксидами азоту. У кубову частину обичайки вварений патрубок для подачі повітря в колону.

Всередині колони створюється розрідження 7 кПа. Повітря за нормальних умов поступає в нижню частку колони за рахунок розрідження. Реакційна суміш з реактора окислення циклогексанолу по переливу поступає в колону на розподільну тарілку, яка рівномірно розподіляє рідину за площею перетину колони.

При стіканні рідини по насадці відбувається її перерозподіл і на деякій відстані від розподільної тарілки рівномірність зрошування може різко зменшитися; при цьому рідина тече уздовж стінки апарату, а центральна частина насадки залишається неокропленою. Для виключення цього явища простір насадки розділяють на шари і встановлюють між шарами перерозподільні тарілки, які збирають рідину і розподіляють її знов по перетину апарату. Над тарілками знаходиться сітчастий відбійник 27, призначення якого – сепарація рідини з газу, що виходить через штуцер Б.

Апарат оснащений штуцерами різного технологічного призначення, штуцерами для приєднання контрольних – вимірювальних приладів і первинних приладів мікропроцесорних пристроїв.

Апарат встановлений на циліндричну опору з кільцевим опорним поясом, конструкція по АТК 24.200.03-90.

Підйом і переміщення апарату при монтажі і демонтажі здійснюється підймальний - транспортними засобами за допомогою стропових пристроїв – цапф. Цапфи приварені до обичайки [7,8,9].

У конструкції апарату також передбачений пристрій для його заземлення – платик з отвором діаметром 18 мм.

До апарату на місці монтажу можуть бути приварені майданчики обслуговування або зовнішні сходи (до спеціально передбачених смуг). При цьому навантаження на майданчики обслуговування – не більше 20 МПа, а маса апарату в робочому стані, з урахуванням максимальних навантажень від майданчика обслуговування і сходів не повинна перевищувати значень, вказаних у відповідних технічних характеристиках.

4 ВИБІР ОСНОВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

У зв'язку з тим, що всередині апарату знаходиться реакційна суміш, до складу якої входить азотна, янтарна, глутарова, адіпінова кислоти, а так само суміш оксидів азоту, води і вуглекислого газу, для корпусу апарату і внутрішніх устроїв вибираємо корозійностійку сталь 10X17H13M2T по ГОСТ 5632–72

Швидкість корозії 0,05 мм/рік.

Люк, фланці штуцерів виготовлені із сталі 10X17H13M2T по ГОСТ 5632–72.

Матеріал труб штуцерів – сталь 10X17H13M2T по ГОСТ 9941-72.

Кріпильні вироби вибираємо:

болт (ГОСТ 7789-70) – сталь 10X17H13M2T ГОСТ 1050 – 80;

гайки (ГОСТ 5915-70) – сталь 10X17H13M2T ГОСТ 1050 – 80.

Матеріал опори – Ст 3 сп5 ДСТУ 2651-94.

Матеріал стропових пристроїв – Ст3 сп5 ДСТУ 2651-94.

Матеріал прокладки – пароніт по ГОСТ 481-80.

Для теплоізоляції приймаємо напівжорсткі плити, що оскляються, на синтетичному єднальному марки 50. Вільна маса 60 кг/м³, максимальна температура застосування 180 °С.

4.1 Обґрунтування вибраної марки сталі

Корозіоностійкі аустенітні сталі стають схильними до міжкристалітної корозії під час зварювання і термообробки при температурі 400-850 °С. При контакті з ізом агресивною середовищем сталь починає руйнуватися вздовж кордонів зерен. Прикладом є руйнування зварних резервуарів, реакторів, колон, і інших апаратів в яких знаходиться азотна кислота, сірчана кислота, а так само інша агресивне середовище [11,12,13].

Чутливість сталі до МКК залежить від її хімічного складу, і тривалості термообробки.

Найшвидше сталі набуває схильність до МКК при температурі 650 °С.

Схильність сталі до МКК виникає при повільному охолодженні під час . Небезпечна ділянка температур локалізується на відстані декількох міліметрів від зварного шва (зона термічного впливу). У агресивній середі зварне з'єднання піддається МКК в околшовній зоні. При змісті 2-3% молібдену в аустенітній сталі опірність її міжкристалітної корозії різко зростає.

Тому для колони була вибрана аустенітна сталь.

5 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ, ЖОРСТКІСТЬ І СТІЙКІСТЬ

5.1 Розрахунковий тиск

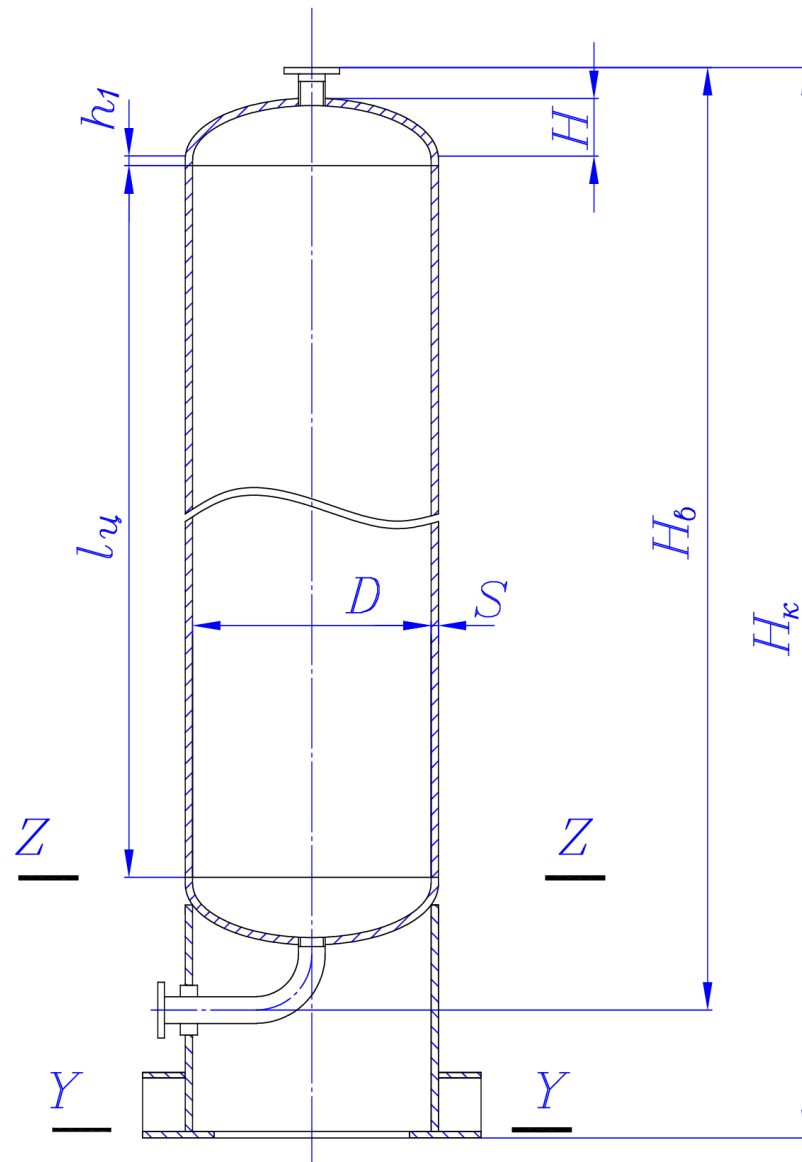


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема колонного апарату

$$\ell_{\text{ч}} = 14155 \text{ мм}, h_1 = 40 \text{ мм}, H_{\text{б}} = 16475 \text{ мм}, H_{\text{к}} = 17155 \text{ мм}.$$

Розрахунковий зовнішній тиск в апараті визначаємо як різниця між атмосферним тиском і залишковим тиском в апараті [16]:

$$P = P_a - P_{\text{ост}} = 0,1 - 0,007 = 0,093 \text{ МПа}.$$

Пробний тиск визначаємо по формулі:

$$P_{np} = 1,25 P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (5.1)$$

При визначенні пробного тиску для посудин, що працюють під вакуумом, розрахунковий тиск у формулі (5.1). Визначаємо напруження, що допускається:

- при розрахунковій температурі $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ $[\sigma]=174\text{ МПа}$;
- при температурі випробування $t_u = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $[\sigma]=184\text{ МПа}$.

Пробний тиск визначаємо по формулі (5.1)

$$P_{np} = 1,25 P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{184}{174} = 0,132\text{ МПа}.$$

Висоту випуклої частини еліптичного днища обчислюємо за формулою

$$H = 0,25 D = 0,25 \cdot 2000 = 500\text{ мм}.$$

Гідростатичний тиск води в апараті визначаємо по формулі:

$$P_z = \rho_c \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6}, \quad (5.2)$$

де ρ_c – щільність води, кг/м^3 ;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

H_c – висота середовища в апараті, м .

Густина води складає $\rho_v = 1000\text{ кг/м}^3$, загальна висота стовпа води в апараті дорівнює висоті циліндричної обичайки з урахуванням висоти двох еліптичних днищ з штуцерами

$$\begin{aligned} H_v &= l_u + 2(h_1 + H + h_u) = 27350 + 2 \cdot (40 + 500) + 200 + 1080 = \\ &= 16475\text{ мм} = 16,48\text{ м}; \end{aligned}$$

$$P_{z\text{ води}} = \rho_v \cdot g \cdot H_v \cdot 10^{-6} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 16,48 \cdot 10^{-6} = 0,162\text{ МПа}.$$

Гідростатичний тиск води в апараті

$$P_{z\text{ води}} = 0,162 > 0,05 P_{np} = 0,05 \cdot 0,132 = 0,0066\text{ МПа}$$

складає більше 5 % від пробного, то розрахунковий тиск в умовах випробувань приймаємо рівним пробному тиску з урахуванням гідростатичного тиску води

$$P_u = P_{пр} + P_{з\text{води}} = 0,132 + 0,162 = 0,294 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову необхідності розрахунку на міцність в умовах випробування

$$P_u \leq 1,35 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]};$$

$$P_u = 0,294 > 1,35 \cdot 0,1 \cdot \frac{184}{174} = 0,142 \text{ МПа.}$$

Умова не виконується, отже, потрібно проводити розрахунок на міцність для робочих умов і умов випробувань.

5.2 Визначаємо групи апарату

Середовище знаходиться в апараті не вибухонебезпечне, токсичне, шкідливе, 2-го класу небезпеки по ГОСТ 12.1.007-76.

Група апарату 5а.

5.2.1 Коефіцієнт міцності зварних швів.

Довжина контрольованої ділянки швів повинна складати не менше 25% від довжини кожного шва.

Коефіцієнт міцності зварних швів 0,9.

5.3 Розрахункова температура

Розрахункова температура корпусу апарату $t = 100^\circ\text{C}$

Для елементів опори, які приварюються до корпусу колони, розрахункова температура в робочих умовах визначається по формулі:

$$t_A = \max\{t_K - \Delta t; 20^\circ\text{C}\} \quad (5.3)$$

де t_K – розрахункова температура корпусу колони в робочих умовах $^\circ\text{C}$;

Δt – перепад температур в опорній обичайці $^\circ\text{C}$;

$$\Delta t = 1.$$

де h – відстань від верхньої кромки опорної обичайки до розрахункового перетину, мм;

$$\Delta t_{x-x} = 0.19 \cdot 1300 = 247$$

$$\Delta t_{y-y} = 0.19 \cdot 2000 = 380$$

$$t_{x-x} = \max\{100 - 247; 20^\circ\text{C}\} = \{-147^\circ\text{C}; 20^\circ\text{C}\} = 20^\circ\text{C}$$

$$t_{y-y} = \max\{100 - 380; 20^\circ\text{C}\} = \{-280^\circ\text{C}; 20^\circ\text{C}\} = 20^\circ\text{C}$$

Розрахункова температура для умов випробування і монтажу приймається рівною 20°C .

По визначуваній коефіцієнт :

$$K_1 = 0,36 \cdot \frac{n_y \cdot P}{E \cdot 10^{-6}}, \quad (5.4)$$

де n_y – коефіцієнт запасу стійкості;

E – модуль подовжньої пружності матеріалу обичайки при розрахунковій температурі, МПа, відповідно до таблиці 9.

приймаючи коефіцієнт запасу стійкості для робочих умов, а модуль подовжньої пружності матеріалу обичайки при розрахунковій температурі визначуваний по таблиці 9.

$$K_1 = 0,36 \frac{n_y \cdot P}{E \cdot 10^{-6}} = 0,36 \cdot \frac{2,4 \cdot 0,093}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6}} = 0,4.$$

Довжину примикаючого елемента для випуклих днищ визначаємо по формулі:

$$l_3 = \frac{H}{3}, \text{ мм.} \quad (5.5)$$

$$l_3 = \frac{H}{3} = \frac{500}{3} = 166,7 \text{ мм.}$$

Розрахункову довжину циліндричної обичайки визначаємо по формулі

$$l = l_y + 2 h_1 + 2 l_3 = 14115 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 166,7 = 14568,4 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт визначуваний по формулі:

$$K_3 = l/D, \quad (5.6)$$

де l – розрахункова довжина гладкої обичайки, мм.

$$K_3 = \frac{l}{D} = \frac{14568.4}{2000} = 7.28.$$

По номограмі на рисунку 5 визначуваний коефіцієнт

Розрахункову товщину стінки обичайки визначаємо по формулі:

$$S_p = \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot P \cdot D}{2 \cdot [\sigma]} \right\}, \quad (5.7)$$

де P – розрахунковий зовнішній тиск, МПа

K_2 – коефіцієнт, визначуваний по номограмі, приведений на малюнку 5, залежно від коефіцієнтів i .

$$S_p = \max \left\{ 0,7 \cdot 2000 \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot 0,093 \cdot 2000}{2 \cdot 174} \right\} = \max \{ 14; 0,58 \} = 14 \text{ мм.}$$

Виконавчу товщину стінки обичайки визначимо по формулі:

$$S \geq S_p + C_1 + C_2, \quad (5.8)$$

де C_1 – надбавка для компенсації корозії, мм;

C_2 – надбавка для компенсації мінусового допуску.

Надбавка для компенсації корозії визначається по формулі:

$$C_1 = P \cdot \tau \quad (5.9)$$

де P – швидкість проникнення корозії, мм/рік;

τ – термін служби апарату, років.

Приймаємо $P=0,05$ мм/рік; років.

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

Надбавка на мінусовій допуск для листового прокату приймається згідно нормативно-технічної документації. Для листа завтовшки 16 мм допуск не враховується.

$$S \geq 14 + 1 = 15 \text{ мм};$$

$$S = 16 \text{ мм.}$$

Оскільки апарат виготовляється з дорогої, корозійностійкій сталі, то економічно доцільно встановити спеціальні кільця жорсткості з метою збільшення жорсткості обичайки і зниження товщини її стінки, а отже, зменшиться металомісткість апарату.

Кільця жорсткості встановлюються зовні апарату, т.е, приварюються до зовнішньої поверхні обичайки.

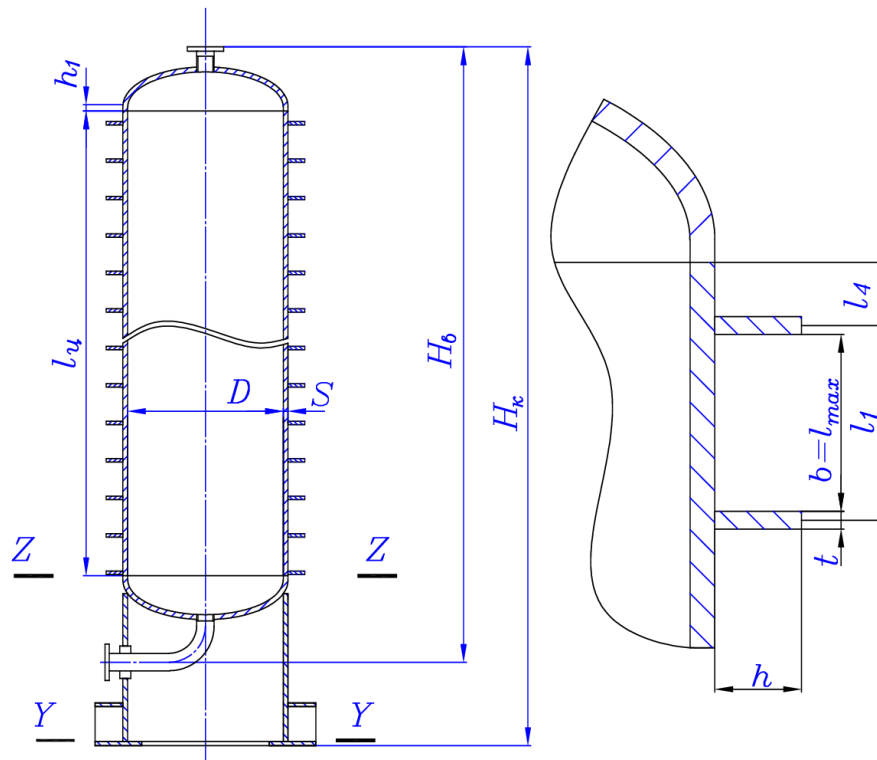


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема обичайки з кільцями жорсткості

$$l_u = 14155 \text{ мм}, h_1 = 40 \text{ мм}, H_6 = 16475 \text{ мм}, H_k = 17155 \text{ мм.}$$

$$P = P_{am} - P_{ост} = 0,1 - 0,01 = 0,093 \text{ МПа.}$$

По таблиці 11 визначуваний профіль кілець жорсткості, що рекомендується, і максимальна відстань між ними [17]

$$t \times h = 12 \times 70 \text{ мм}; \quad l_{max} = b = 1500 \text{ мм.}$$

Відстань між двома суміжними кільцями жорсткості по осях, що проходять через центр тяжіння їх поперечних перетинів, визначуваний по формулі

$$l_1 = b + t = 1500 + 12 = 1512 \text{ мм.}$$

Момент інерції поперечного перетину кільця жорсткості прямокутної форми визначуваний по формулі:

$$I_{\kappa} = \frac{t \cdot h^3}{12}, \quad (5.10)$$

де t – ширина поперечного перетину кільця жорсткості, мм;

h – висота поперечного перетину кільця жорсткості, мм.

$$I_{\kappa} = \frac{t \cdot h^3}{12} = \frac{12 \cdot 70^3}{12} = 343000 \text{ мм}^4.$$

Ефективну довжину стінки обичайки визначаємо по формулі:

$$l_e = \min \left\{ l_1; t + 1,1 \sqrt{D \cdot (S - C)} \right\}, \quad (5.11)$$

$$l_e = \min \left\{ l_1; t + 1,1 \sqrt{D \cdot (S - C)} \right\} =$$

$$= \min \left\{ 1512; 8 + 1,1 \cdot \sqrt{2000 \cdot (8 - 1,8)} \right\} = \min \left\{ 1512; 134,5 \right\} =$$

$$= 134,5 \text{ мм.}$$

Ефективний момент інерції розрахункового поперечного перетину кільця жорсткості визначуваний по формулі:

$$I = I_{\kappa} + \frac{l_1 \cdot (S - C)^3}{10,9} + e^2 \cdot \frac{A_{\kappa} \cdot l_e \cdot (S - C)}{A_{\kappa} + l_e \cdot (S - C)}, \quad (5.12)$$

де I_{κ} – момент інерції вибраного профілю кільця жорсткості, мм⁴;

l_1 – відстань між двома кільцями жорсткості по осях, що проходять через центр тяжіння поперечного перетину кільця жорсткості, мм;

e – відстань між центром тягаря поперечного перетину кільця жорсткості і серединною поверхнею обичайки, мм;

A_{κ} – майдан поперечного перетину кільця жорсткості, мм²;

l_e – ефективна довжина стінки обичайки, мм.

$$A_k = t \cdot h = 12 \cdot 70 = 840 \text{ мм}^2$$

$$\begin{aligned} I &= I_k + \frac{l_1 \cdot (S - C)^3}{10,9} + e^2 \cdot \frac{A_k \cdot l_e \cdot (S - C)}{A_k + l_e \cdot (S - C)} = \\ &= 343000 + \frac{1512 \cdot (8 - 1,8)^3}{10,9} + 39^2 \cdot \frac{840 \cdot 134,5 \cdot (8 - 1,8)}{840 + 134,5 \cdot (8 - 1,8)} = 1,012 \cdot 10^6 \text{ мм}^4 \end{aligned}$$

Для визначення розрахункового ефективного моменту інерції знайдемо значення коефіцієнта по графіку на малюнку 9. Для цього обчислюємо відношення

$$l/D = 1500/2000 = 0,75,$$

де l – розрахункова довжина гладкої циліндричної обичайки, мм

$$l = b = 1500 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт визначуваний значення по формулі:

$$K_1 = 0,36 \cdot \frac{n_y \cdot P}{E \cdot 10^{-6}}, \quad (5.13)$$

де n_y – коефіцієнт запасу стійкості;

E – модуль подовжньої пружності матеріалу обичайки при розрахунковій температурі, МПа, відповідно до таблиці 9.

$$E = 2,0 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$n = 2,4.$$

$$K_1 = 0,36 \cdot \frac{n_y \cdot P}{E \cdot 10^{-6}} = 0,36 \cdot \frac{2,4 \cdot 0,093}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6}} = 0,4.$$

Надбавку для компенсації мінусового допуску сталевого листа завтовшки $s = 8$ мм визначуваний по таблиці 6 $C_2 = 0,8$ мм. Спільна надбавка до розрахункової товщини складе

$$C = C_1 + C_2 = 1 + 0,8 = 1,8 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт визначуваний по формулі:

$$K_2 = 100(S - C)/D. \quad (5.14)$$

$$K_2 = \frac{100(S - C)}{D} = \frac{100(8 - 1,8)}{2000} = 0,31.$$

По графіку на малюнку 9 при i знаходимо значення коефіцієнта.

Розрахунковий ефективний момент інерції циліндричної обичайки визначається по формулі:

$$I_p = \frac{0,1 \cdot P \cdot D^3 \cdot l_1 \cdot n_y}{E \cdot 2,4} \cdot K_5, \quad (5.15)$$

$$I_p = \frac{0,1 \cdot P \cdot D^3 \cdot l_1 \cdot n_y}{E \cdot 2,4} \cdot K_5 = \frac{0,1 \cdot 0,093 \cdot 2000^3 \cdot 1512 \cdot \frac{2,4}{2,4}}{2,0 \cdot 10^5} \cdot 0,07 = 3,93 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

Умова

$$I = 1,012 \cdot 10^6 > I_p = 3,93 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$$

виконується.

Перевіряємо умову стійкості обичайки в робочих умовах по зовнішньому тиску і умову міцності обичайки в умовах випробування по внутрішньому тиску.

Зовнішній тиск, що допускається, з умови міцності всієї обичайки визначаємо по формулі:

$$[P]_{II} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C) + 2 \cdot \frac{A_k}{l_1} \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_k}{D + (S - C)}, \quad (5.16)$$

де $[\sigma]_k$ – напруга, що допускається, для кільця жорсткості при розрахунковій температурі, МПа;

φ_k – коефіцієнт міцності зварних швів кільця жорсткості.

при

$$\begin{aligned} [P]_{II} &= \frac{2 [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C) + 2 \cdot \frac{A_k}{l_1} \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_k}{D + (S - C)} = \\ &= \frac{2 \cdot 174 \cdot 0,9 \cdot (8 - 1,8) + 2 \cdot \frac{840}{1512} \cdot 174 \cdot 1}{2000 + (8 - 1,8)} = 1,05 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Висоту випуклої частини еліптичного днища визначаємо по формулі

$$H = 0,25 D = 0,25 \cdot 2000 = 500 \text{ мм}.$$

Розрахункову довжину примикаючого елемента для випуклих днищ визначаємо по формулі (5.4):

$$l_3 = \frac{500}{3} = 166,7 \text{ мм.}$$

Розрахункову довжину циліндричної обичайки визначаємо по формулі

$$l = l_y + 2 h_1 + 2 l_3 = 14115 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 166,7 = 14568,4 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт жорсткості обичайки, підкріпленій кільцями жорсткості, визначається по формулі:

$$k = \sqrt{\frac{10,9 \cdot I}{l_1 \cdot (S - C)^3}} \quad (5.17)$$

$$k = \sqrt{\frac{10,9 \cdot I}{l_1 \cdot (S - C)^3}} = \sqrt{\frac{10,9 \cdot 1,012 \cdot 10^6}{1512 \cdot (8 - 1,8)^3}} = 5,53;$$

Коефіцієнт визначується по формулі:

$$B_2 = \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot k \cdot (S - C)}} \right\} \quad (5.18)$$

$$\begin{aligned} B_2 &= \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot k \cdot (S - C)}} \right\} = \\ &= \min \left\{ 1,0; 9,45 \cdot \frac{2000}{14568} \cdot \sqrt{\frac{2000}{100 \cdot 5,53 \cdot (8 - 1,8)}} \right\} = \\ &= \min \{1,0; 6,14\} = 1,0 \end{aligned}$$

Зовнішній тиск, що допускається, з умови стійкості всієї обичайки з кільцями жорсткості в межах пружності визначується по формулі:

$$[P]_{IE} = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{k \cdot n_y \cdot B_2 \cdot L} \cdot \left[\frac{100 \cdot k \cdot (S - C)}{D} \right]^{2,5} \quad (5.19)$$

$$\begin{aligned}
 [P]_{IE} &= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{k \cdot n_y \cdot B_2 \cdot L} \cdot \left[\frac{100 k \cdot (S - C)}{D} \right]^{2,5} = \\
 &= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot 2000}{5,53 \cdot 2,4 \cdot 1 \cdot 14568} \cdot \left[\frac{100 \cdot 5,53 \cdot (8 - 1,8)}{2000} \right]^{2,5} = 0,165 \text{ МПа}.
 \end{aligned}$$

Зовнішній тиск, що допускається, з умов стійкості всієї обичайки з кільцями жорсткості обчислюваний за формулою:

$$[P]_I = \frac{[P]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{II}}{[P]_{IE}} \right)^2}}, \quad (5.20)$$

де $[P]_{II}$ – зовнішній тиск, що допускається, з умов міцності всієї обичайки при $\sigma = 1$, МПа;

$[P]_{IE}$ – зовнішній тиск, що допускається, з умов стійкості всієї обичайки в межах пружності, МПа.

$$[P]_I = \frac{[P]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{II}}{[P]_{IE}} \right)^2}} = \frac{1,05}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,05}{0,17} \right)^2}} = 0,167 \text{ МПа}.$$

Відстань між елементом жорсткості і віссю, що проходить через центр тяжіння суміжного з ним кільця за наявності дев'яти кілець жорсткості, визначуваний по формулі

$$l_4 = 0,5(l_u - 9l_1) = 0,5(14115 - 9 \cdot 1512) = 1009,5 \text{ мм}.$$

Розрахункову відстань визначаємо по формулі

$$l_2 = l_4 + h_1 + l_3 = 1009,5 + 40 + 166,7 = 1216,2 \text{ мм}.$$

Розрахункову довжину обичайки визначаємо по формулі

$$l = \max \{ b; l_2 - 0,5t \} = \max \{ 1500; 1216,2 - 0,5 \cdot 12 \} = 1500 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт визначуваний по формулі:

$$B_1 = \min \left\{ 1,0 ; 9,45 \cdot \frac{l}{D} \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S-C)}} \right\} \quad (5.21)$$

$$\begin{aligned} B_1 &= \min \left\{ 1,0 ; 9,45 \frac{D}{l} \sqrt{\frac{D}{100(S-C)}} \right\} = \\ &= \min \left\{ 1,0 ; 9,45 \cdot \frac{2000}{1500} \cdot \sqrt{\frac{2000}{100 \cdot (8-1,8)}} \right\} = \min \{1,0; 22,6\} = 1,0. \end{aligned}$$

Для визначення зовнішнього тиску, що допускається, по формулі:

$$[P] = \frac{[P]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{II}}{[P]_E} \right)^2}}, \quad (5.22)$$

де $[P]_{II}$ – тиск, що допускається, з умови міцності, МПа;

$[P]_E$ – тиск, що допускається, з умови стійкості, МПа.

обчислюємо зовнішній тиск, що допускається, з умови міцності по формулі:

$$[P]_{II} = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S-C)}{D+(S-C)} \quad (5.23)$$

$$[P]_{II} = \frac{2[\sigma] \cdot (S-C)}{D+(S-C)} = \frac{2 \cdot 174 \cdot (8-1,8)}{2000+(8-1,8)} = 1,075 \text{ МПа}$$

і зовнішній тиск, що допускається, з умови стійкості в межах пружності по формулі:

$$[P]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot E}{n_y \cdot B_1 \cdot l} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S-C)}{D} \right]^{2,5} \quad (5.24)$$

$$\begin{aligned} [P]_E &= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot D \cdot E}{n_y \cdot B_1 \cdot l} \cdot \left[\frac{100(S-C)}{D} \right]^{2,5} = \\ &= \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 2000}{2,4 \cdot 1,0 \cdot 1500} \cdot \left[\frac{100 \cdot (8-1,8)}{2000} \right]^{2,5} = 0,124 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Зовнішній тиск, що допускається, визначуваний з умови стійкості обичайки між двома сусідніми кільцями жорсткості, визначаємо по формулі

$$[P]_2 = \frac{[P]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{II}}{[P]_E}\right)^2}} = \frac{1,075}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,075}{0,124}\right)^2}} = 0,123 \text{ МПа.}$$

Зовнішній тиск, що допускається, визначаємо по формулі:

$$[P] = \min \{ [P]_1; [P]_2 \} = \min \{ 0,167; 0,123 \} = 0,123 \text{ МПа.}$$

Умова стійкості

$$P = 0,093 < [P] = 0,123 \text{ МПа}$$

виконується.

Оскільки розрахунковий тиск в умовах випробування більше розрахункового тиску в робочих умовах, помноженого на, то розрахунок на міцність необхідно проводити як для робочих умов, так і для умов випробування.

Виконуємо перевірочний розрахунок на міцність для умов випробування.

Визначувана межа текучості матеріалу обичайки і кілець жорсткості при температурі 20 °С $R_e^{20} = 240$ МПа. Коефіцієнт запасу міцності при гідравлічних випробуваннях приймаємо по таблиці 1 рівним $n_t = 1,1$. Напругу, що допускається, в умовах випробувань визначаємо по формулі:

$$[\sigma]_u = [\sigma]_k = \frac{R_e^{20}}{n_t} = \frac{240}{1,1} = 218 \text{ МПа.}$$

Тиск, що допускається, з умови міцності всієї обичайки розраховуємо по формулі:

$$[P]_1 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C) + 2 \cdot \frac{A_k}{l_1} \cdot [\sigma]_k \cdot \varphi_k}{D + (S - C)} \quad (5.25)$$

$$[P]_1 = \frac{2 \cdot 218 \cdot 0,9 \cdot (8 - 1,8) + 2 \cdot \frac{840}{1512} \cdot 218 \cdot 0,9}{2000 + (8 - 1,8)} = 1,32 \text{ МПа.}$$

Параметр визначуваний по формулі:

$$\lambda_n^2 = \frac{b^2}{D \cdot (S - C)} \quad (5.26)$$

$$\lambda_n^2 = \frac{b^2}{D \cdot (S - C)} = \frac{1500^2}{2000 \cdot (8 - 1,8)} = 181,5.$$

Внутрішній надлишковий тиск, що допускається, з умови міцності обичайки між двома сусідніми кільцями жорсткості визначується по формулі:

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_r \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \cdot \frac{2 + \lambda_n^2}{1 + \frac{\varphi_r \cdot \lambda_n^2}{\varphi_p}} \quad (5.27)$$

$$[P]_2 = \frac{2 \cdot 218 \cdot 0,9 \cdot (8 - 1,8)}{2000 + (8 - 1,8)} \cdot \frac{2 + 181,5^2}{1 + \frac{0,9 \cdot 181,5^2}{0,9}} = 1,21 \text{ МПа.}$$

Внутрішній надлишковий тиск, що допускається, визначаємо по формулі:

$$[P] = \min \{1,32; 1,21\} = 1,21 \text{ МПа.}$$

Умова міцності

$$P = 0,294 < [P] = 1,21 \text{ МПа}$$

виконується

5.4 Навантаження від власної ваги

G_1 – вага колони в робочих умовах, включаючи вагу ізоляції, внутрішніх устроїв і робочої середи, Н.

$$G_1 = ((m_2 + m_4 + m_5) \cdot 1,1 + m_1 + m_3) \cdot g \quad (5.28)$$

де m_1 – маса ізоляції, кг;

m_2 – маса внутрішніх устроїв, кг;

m_3 – маса робочої середи, кг;

m_4 – маса корпуси апарату, кг;

m_5 – маса опори, кг

$$m_1 = \pi \cdot (R_{ни}^2 - R_{ви}^2) \cdot H \cdot \rho_{из} \quad (5.29)$$

де $R_{ви}$ – внутрішній радіус ізоляції, м;

$R_{ни}$ – зовнішній радіус ізоляції, м;

H – висота апарату з опорою, м;

$\rho_{из}$ – щільність ізоляції, кг/м³;

$$m_1 = 3,14 \cdot (1,078^2 - 1,008^2) \cdot 15,19 \cdot 250 = 1741 \text{ кг}.$$

$$m_2 = z_c \cdot m_c + m_{c.омб} + m_{p.m} \quad (5.30)$$

де z_c – к-ть шарів насадки;

m_c – маса шарів насадки, кг;

$m_{c.омб}$ – маса сітчастого відбійника, кг;

$m_{p.m}$ – маси розподільної і перерозподільних тарілок, кг

$$m_2 = 2 \cdot 5715 + 33 + 139,8 = 11603 \text{ кг}$$

$$m_3 = (\pi \cdot R^2 \cdot H_{cp}) \cdot \rho_{cp} \quad (5.31)$$

R – внутрішній радіус циліндричної обичайки, м;

H_{cp} – висота середовища в циліндровій обичайці, м;

ρ_{cp} – щільність середовища, кг/м³;

$$m_3 = (3,14 \cdot 1^2 \cdot 1,5) \cdot 1200 = 5652 \text{ кг}$$

$$m_4 = \pi \cdot (R_H^2 - R_B^2) \cdot H_{ц.об} \cdot \rho_{ст} + 2m_{э.д},$$

де R_H – зовнішній радіус апарату, м;

R_B – внутрішній радіус апарату, м;

$H_{ц.об}$ – висота циліндричної обичайки корпусу, м;

$\rho_{ст}$ – щільність сталі, кг/м³;

$$m_4 = 3,14 \cdot (1,008^2 - 1^2) \cdot 14,115 \cdot 7850 + 2 \cdot 149,1 = 5887 \text{ кг}$$

$$m_5 = 230 \text{ кг}$$

$$G_1 = ((11603 + 5887 + 230) \cdot 1,1 + 1741 + 5662) \cdot 9,81 = 263742 \text{ Н}$$

Вага колони при випробуванні (без ізоляції), включаючи вагу води, що заповнює колону:

$$G_2 = (m_4 + m_5) \cdot 1,1 \cdot g + m_B \cdot g \quad (5.32)$$

де m_B – маса води при випробуванні, кг;

$$G_2 = (5887 + 230) \cdot 1,1 \cdot 9,81 + 44555 \cdot 9,81 = 503093 \text{ Н}$$

Максимальне навантаження на опору в умовах монтажу:

$$G_3 = (m_4 + m_5 + m_2) \cdot 1,1 \cdot g + m_1 \cdot g \quad (5.33)$$

$$G_3 = (11603 + 5887 + 230) \cdot 1,1 \cdot 9,81 + 1741 \cdot 9,81 = 208296 \text{ Н}$$

Мінімальне навантаження на опору в умовах монтажу (вага колони без ізоляції і внутрішніх пристроїв):

$$G_4 = (m_4 + m_5) \cdot 1.1 \cdot g \quad (5.34)$$

$$G_4 = (5887 + 230) \cdot 1.1 \cdot 9.81 = 66009 \text{ Н}$$

5.5 Визначення моментів, що вигинають, від вітрового навантаження.

5.5.1 Визначення періоду власних коливань.

період основного тону власних коливань апарату постійного перетину з при-
близно рівномірно розподіленою по висоті масою, з:

$$T = 5.69 \cdot 10^{-2} \cdot H \sqrt{\frac{M \cdot H}{E_K \cdot I_K} + \frac{4M}{C_F \cdot I_F}} \quad (5.35)$$

де M – маса апарату в робочих умовах, кг;

H – висота колони, мм;

E_K – модуль подовжньої пружності матеріалу колони при розрахунковій тем-
пературі, МПа;

I_K – момент поперечного перетину корпусу колони щодо центральної осі,
мм⁴;

I_F – момент інерції підшви фундаменту, мм⁴ ;

C_F – коефіцієнт нерівномірності стискуванні ґрунту, Н/мм³.

$$I_K = (\pi/8) \cdot (D + S - C)^3 \cdot (S - C) \quad (5.36)$$

$$I_K = (3.14/8) \cdot (2000 + 8 - 1.8)^3 \cdot (8 - 1.3) = 1,966 \cdot 10^{10} \text{ мм}^4$$

Якщо точні розміри фундаменту невідомі, то момент інерції підшви фунда-
менту визначають по [3]:

$$I_F = 0.065 \cdot D_{HK} \quad (5.37)$$

де D_{HK} – зовнішній діаметр опорного кільця колони, мм.

$$I_F = 0.065 \cdot 2350 = 1,982 \cdot 10^{12} \text{ (мм}^4\text{)}$$

$$T = 5.69 \cdot 10^{-2} \cdot 16625 \sqrt{\frac{26885 \cdot 16625}{2,0 \cdot 10^5 \cdot 1,966 \cdot 10^{10}} + \frac{4 \cdot 26885}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 1,982 \cdot 10^{12}}} = 0,766 \text{ с.}$$

5.5.2 Визначення моментів, що вигинають, в розрахункових перетинах [17,18,19]

Момент, що вигинає, Н·мм, в перетині z – z від дії вітру:

$$M_{vz} = \sum_{i=1}^{z-1} P_i (x_i - x_0) + \sum_{j=1}^n M_{zj} \quad (5.38)$$

де P_i – горизонтальна сила від дії вітру на i – тій ділянці колони, Н;

x_i – відстань від середини i -го ділянки вщент колони, мм;

x_0 – висота опорної обичайки, мм;

z – к-ть ділянок;

n – число обслуговуючих майданчиків вище за перетин z-z;

M_{zj} – момент, що вигинає, в перетині z-z від дії вітру на j -ий обслуговуючий майданчик, Н·мм;

$$x_0 = 2000 - h' - h'' \quad (5.39)$$

$$h'' = 40 \text{ мм} ; h_B = 200 \text{ мм} ;$$

$$h' = \frac{h_B + S}{D_p} \cdot \sqrt{D_p^2 - D^2} \quad (5.40)$$

$$h' = \frac{200 + 8}{2020} \cdot \sqrt{2020^2 - 2000^2} = 30 \text{ мм}$$

$$x_0 = 1930 \text{ мм} ;$$

$$x_1 = 14825 \text{ мм} ;$$

$$x_2 = 11225 \text{ мм} ;$$

$$x_3 = 7625 \text{ мм} ;$$

$$x_4 = 3875 \text{ мм} ;$$

$$x_5 = 1000 \text{ мм} ;$$

$$z = 5 ; n = 3.$$

Вітрове навантаження на i -тій ділянці, Н:

$$P_i = P_{i\ st} + P_{i\ din} \quad (5.41)$$

Статична складова вітрового навантаження на і-тій ділянці, Н:

$$P_{i\ st} = q_{i\ st} \cdot D_H \cdot h_i \quad (5.42)$$

де $q_{i\ st}$ – нормативне значення статичної складової вітрового навантаження на і-тій ділянці, Н;

D_H – зовнішній діаметр апарату, мм.

Для умов монтажу і робочих умов приймаємо $D_H = 2156$ мм – зовнішній діаметр ізоляції.

$$q_{i\ st} = q_0 \cdot u_i \cdot K \quad (5.43)$$

де q_0 – швидкісний натиск вітру, МПа:

u_i – коефіцієнт, що враховує зміну швидкісного натиску вітру від висоти апарату;

K – аеродинамічний коефіцієнт.

$$q_0 = 4.5 \cdot 10^{-4} \text{ МПа}; K = 0.7 .$$

$$\theta_i = 5.25 \cdot 10^{-2} \cdot x_i \quad (5.44)$$

$$\theta_1 = 5.25 \cdot 10^{-2} \cdot x_1 = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot 14825^{0,32} = 1,35 ;$$

$$\theta_2 = 5.25 \cdot 10^{-2} \cdot x_2 = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot 11225^{0,32} = 1,038 ;$$

$$\theta_3 = 5.25 \cdot 10^{-2} \cdot x_3 = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot 7625^{0,32} = 0,917 ;$$

$$\theta_4 = 5.25 \cdot 10^{-2} \cdot x_4 = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot 3875^{0,32} = 0,739 ;$$

$$\theta_Z = 5.25 \cdot 10^{-2} \cdot x_Z = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot 1000^{0,32} = 0.479 ;$$

$$q_{1st} = q_0 \cdot \theta_1 \cdot K = 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0.7 \cdot 1.35 = 3.574 \cdot 10^{-4} ;$$

$$q_{2st} = q_0 \cdot \theta_2 \cdot K = 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0.7 \cdot 1.038 = 3.27 \cdot 10^{-4} ;$$

$$q_{3st} = q_0 \cdot \theta_3 \cdot K = 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0.7 \cdot 0,917 = 2,889 \cdot 10^{-4} ;$$

$$q_{4st} = q_0 \cdot \theta_4 \cdot K = 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0.7 \cdot 0.739 = 2.327 \cdot 10^{-4} ;$$

$$q_{Zst} = q_0 \cdot \theta_Z \cdot K = 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0.7 \cdot 0.479 = 1.508 \cdot 10^{-4} ;$$

$$P_{1st} = q_{1st} \cdot D_H \cdot h_1 = 3.574 \cdot 10^{-4} \cdot 2156 \cdot 3600 = 2,774 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_{2st} = q_{2st} \cdot D_H \cdot h_2 = 3.27 \cdot 10^{-4} \cdot 2156 \cdot 3600 = 2.538 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_{3st} = q_{3st} \cdot D_H \cdot h_3 = 2,889 \cdot 10^{-4} \cdot 2156 \cdot 3600 = 2,243 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_{4st} = q_{4st} \cdot D_H \cdot h_4 = 2.327 \cdot 10^{-4} \cdot 2156 \cdot 3900 = 3,005 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_{Zst} = q_{Zst} \cdot D_H \cdot h_Z = 1.508 \cdot 10^{-4} \cdot 2156 \cdot 1930 = 627,59 \text{ H}$$

Динамічна складова вітрового навантаження на і-ій ділянці, Н:

$$P_{din} = v \cdot m_i \cdot g \cdot \xi \cdot \eta_i \quad (5.45)$$

де m_i – маса і-го ділянки апарату, кг;

ξ – коефіцієнт динамічності при вітровому навантаженні;

η_i – приведенне відносне прискорення центру тяжіння і-ої ділянки.

$$\xi = 1,2 + 3,6 \cdot \sqrt{\varepsilon} \quad (5.46)$$

$$\varepsilon = 1.19 \cdot 0,766 \cdot \sqrt{4.5 \cdot 10^{-4}} = 0,019$$

$$\xi = 1,2 + 3,6 \cdot \sqrt{0.019} = 1,701.$$

Коефіцієнт, що враховує кореляцію пульсації швидкості вітру:

$$v = 0,7$$

Приведене відносне прискорення центру тяжіння і-ої ділянки:

$$\eta_i = \alpha_i \cdot K_i \quad (5.47)$$

де K_i – коефіцієнт, Н·мм.

$$\alpha_i = \frac{H \cdot \beta_i}{3 \cdot E_K \cdot I_K} + \frac{x_i}{H \cdot C_f \cdot I_f} \quad (5.48)$$

$$\beta_i = 1.04 \cdot (x_i / H)^{1.8} \quad (5.49)$$

$$\beta_1 = 1.04 \cdot (x_1 / H)^{1.8} = 1,04 \cdot (14825 / 16625)^{1.8} = 0,846 ;$$

$$\beta_2 = 1.04 \cdot (x_2 / H)^{1.8} = 1,04 \cdot (11225 / 16625)^{1.8} = 0,513 ;$$

$$\beta_3 = 1.04 \cdot (x_3 / H)^{1.8} = 1,04 \cdot (7625 / 16625)^{1.8} = 0,256 ;$$

$$\beta_4 = 1.04 \cdot (x_4 / H)^{1.8} = 1,04 \cdot (3875 / 16625)^{1.8} = 0,076 ;$$

$$\beta_Z = 1.04 \cdot (x_Z / H)^{1.8} = 1,04 \cdot (1000 / 16625)^{1.8} = 0.0066 .$$

Коефіцієнт K_1 визначуваний по формулі:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^Z \alpha_i \cdot \mu_i \cdot P_{i,ст}}{(\sum_{i=1}^Z \alpha_i^2 \cdot m_i \cdot g)} \quad (5.50)$$

де μ_i - коефіцієнт пульсації швидкісного натиску середини i -ої ділянки на висоті:

$$\mu_i = \min\{0.6; 2.62 \cdot x_i^{0.16}\} \quad (5.51)$$

$$\mu_1 = \min\{0.6; 2.62 \cdot x_1^{0.16}\} = \min\{0.6; 2.62 \cdot 14285^{0.16}\} = \min\{0.6; 0.564\} = 0.564$$

$$\mu_2 = \min\{0.6; 2.62 \cdot x_2^{0.16}\} = \min\{0.6; 2.62 \cdot 11225^{0.16}\} = \min\{0.6; 0.589\} = 0.589$$

$$\mu_3 = \min\{0.6; 2.62 \cdot x_3^{0.16}\} = \min\{0.6; 2.62 \cdot 7625^{0.16}\} = \min\{0.6; 0.627\} = 0.6$$

$$\mu_4 = \min\{0.6; 2.62 \cdot x_4^{0.16}\} = \min\{0.6; 2.62 \cdot 3875^{0.16}\} = \min\{0.6; 0.699\} = 0.6$$

$$\mu_Z = \min\{0.6; 2.62 \cdot x_Z^{0.16}\} = \min\{0.6; 2.62 \cdot 1000^{0.16}\} = \min\{0.6; 0.868\} = 0.6$$

Визначаємо $(1/H \cdot \text{мм})$ по формулі (5.51):

$$\alpha_1 = \frac{H \cdot \beta_1}{3 \cdot E_K \cdot I_K} + \frac{x_1}{H \cdot C_f \cdot I_f} = \frac{16625 \cdot 0.846}{3 \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot 1,966 \cdot 10^{10}} + \frac{19480}{16625 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 1.982 \cdot 10^{12}} = 5,691 \cdot 10^{-12}$$

$$\alpha_2 = \frac{H \cdot \beta_2}{3 \cdot E_K \cdot I_K} + \frac{x_2}{H \cdot C_f \cdot I_f} = \frac{16625 \cdot 0.513}{3 \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot 1,966 \cdot 10^{10}} + \frac{11225}{16625 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 1.982 \cdot 10^{12}} = 4,129 \cdot 10^{-12}$$

$$\alpha_3 = \frac{H \cdot \beta_3}{3 \cdot E_K \cdot I_K} + \frac{x_3}{H \cdot C_f \cdot I_f} = \frac{16625 \cdot 0.256}{3 \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot 1,966 \cdot 10^{10}} + \frac{7625}{16625 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 1.982 \cdot 10^{12}} = 2,674 \cdot 10^{-12}$$

$$\alpha_4 = \frac{H \cdot \beta_4}{3 \cdot E_K \cdot I_K} + \frac{x_4}{H \cdot C_f \cdot I_f} = \frac{16625 \cdot 0.076}{3 \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot 1,966 \cdot 10^{10}} + \frac{3875}{16625 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 1.982 \cdot 10^{12}} = 1.283 \cdot 10^{-12}$$

$$\alpha_Z = \frac{H \cdot \beta_Z}{3 \cdot E_K \cdot I_K} + \frac{x_Z}{H \cdot C_f \cdot I_f} = \frac{16625 \cdot 0.0066}{3 \cdot 2,0 \cdot 10^5 \cdot 1,966 \cdot 10^{10}} + \frac{1000}{16625 \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot 1.982 \cdot 10^{12}} = 3,127 \cdot 10^{-13}$$

Маси ділянок приймаємо рівномірно розподіленими по довжині апарату:

$$m_1 = 5377 \text{ кг};$$

$$m_2 = 5377 \text{ кг};$$

$$m_3 = 5377 \text{ кг};$$

$$m_4 = 5377 \text{ кг};$$

$$m_5 = 5377 \text{ кг}.$$

Визначуваний коефіцієнт KI по формулі (5.53):

$$K_1 = \sum_{i=1}^Z \alpha_i \cdot \mu_i \cdot P_{ist} / \left(\sum_{i=1}^Z \alpha_i^2 \cdot m_i \cdot g \right) = 6,875 \cdot 10^9.$$

Визначаємо приведенне відносне прискорення центру тяжіння і-го ділянки по формулі (29):

$$\eta_1 = \alpha_1 \cdot K_1 = 5,691 \cdot 10^{-12} \cdot 6,875 \cdot 10^9 = 0,039$$

$$\eta_2 = \alpha_2 \cdot K_1 = 4,129 \cdot 10^{-12} \cdot 6,875 \cdot 10^9 = 0,028$$

$$\eta_3 = \alpha_3 \cdot K_1 = 2,674 \cdot 10^{-12} \cdot 6,875 \cdot 10^9 = 0,018$$

$$\eta_4 = \alpha_4 \cdot K_1 = 1,283 \cdot 10^{-12} \cdot 6,875 \cdot 10^9 = 0,0088$$

$$\eta_Z = \alpha_Z \cdot K_1 = 2,731 \cdot 10^{-12} \cdot 6,875 \cdot 10^9 = 2,406 \cdot 10^{-3}$$

Визначаю динамічну складову вітрового навантаження на ділянці по формулі (5.47):

$$P_{1din} = v \cdot m_1 \cdot g \cdot \xi \cdot \eta_1 = 0,7 \cdot 5377 \cdot 9,81 \cdot 1,701 \cdot 0,039 = 2,457 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_{2din} = v \cdot m_2 \cdot g \cdot \xi \cdot \eta_2 = 0,7 \cdot 5377 \cdot 9,81 \cdot 1,701 \cdot 0,028 = 1,783 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_{3din} = v \cdot m_3 \cdot g \cdot \xi \cdot \eta_3 = 0,7 \cdot 5377 \cdot 9,81 \cdot 1,701 \cdot 0,018 = 1,154 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_{4din} = v \cdot m_4 \cdot g \cdot \xi \cdot \eta_4 = 0,7 \cdot 5377 \cdot 9,81 \cdot 1,701 \cdot 0,0088 = 553,6 \text{ H}$$

$$P_{Zdin} = v \cdot m_Z \cdot g \cdot \xi \cdot \eta_Z = 0,7 \cdot 5377 \cdot 9,81 \cdot 1,701 \cdot 2,406 \cdot 10^{-3} = 135 \text{ H}$$

Визначаємо вітрове навантаження на ділянці, Н, по формулі (5.43):

$$P_1 = P_{1st} + P_{1din} = 5,231 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_2 = P_{2st} + P_{2din} = 4,32 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_3 = P_{3st} + P_{3din} = 3,397 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_4 = P_{4st} + P_{4din} = 3,559 \cdot 10^3 \text{ H}$$

$$P_Z = P_{Zst} + P_{Zdin} = 762 \text{ H}$$

Визначуваний момент, що вигинає, в перетині z-z від дії вітру на обслуговуючий майданчик, Н·мм:

$$M_{zj} = 0,85 \cdot q_0 \cdot \theta_j \cdot (x_j - x_0) \cdot (1 + 0,75 \cdot \xi \cdot \chi_j \cdot \mu_j) \cdot A \quad (5.52)$$

x_j - відстань від j-ого майданчика, мм;

χ_j - коефіцієнт;

μ_j - коефіцієнт пульсації швидкісного натиску вітру для майданчика на висоті;

A – площа проекції контура обслуговуючого майданчика на вертикальну площину (парусність майданчика), мм²;

Коефіцієнт визначається по формулі

$$\theta_j = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot x_j^{0,32} \quad (5.53)$$

$$\theta_1 = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot 14020^{0,32} = 1,115$$

$$\theta_2 = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot 8850^{0,32} = 0,962$$

$$\theta_3 = 5,25 \cdot 10^{-2} \cdot 2600^{0,32} = 0,65$$

Коефіцієнт визначується по формулі:

$$\chi_j = 0,04 + 1,52 \cdot (x_j / H)^{1,75} \quad (5.54)$$

$$\chi_1 = 0,04 + 1,52 \cdot (14020 / 16625)^{1,75} = 0,968$$

$$\chi_2 = 0,04 + 1,52 \cdot (8850 / 16625)^{1,75} = 0,455$$

$$\chi_3 = 0,04 + 1,52 \cdot (2600 / 16625)^{1,75} = 0,089$$

Коефіцієнт пульсації швидкісного натиску вітру для майданчика на висоті:

$$\mu_j = \min \{ 0,6; 2,62 \cdot x_j^{-0,16} \} \quad (5.55)$$

$$\mu_1 = \min \{ 0,6; 2,62 \cdot 14020^{-0,16} \} = \min \{ 0,6; 0,569 \} = 0,569$$

$$\mu_2 = \min \{ 0,6; 2,62 \cdot 8850^{-0,16} \} = \min \{ 0,6; 0,612 \} = 0,6$$

$$\mu_3 = \min \{ 0,6; 2,62 \cdot 2600^{-0,16} \} = \min \{ 0,6; 0,745 \} = 0,6$$

Площа проекції контура майданчика на вертикальну

$$A = 2,2 \cdot 10^3 \cdot (D + 1875) \quad (5.56)$$

$$A = 2,2 \cdot 10^3 \cdot (2000 + 1875) = 8,525 \cdot 10^6 \text{ мм}^2$$

Визначується момент, що вигинає, в перетині z-z від дії вітру на обслуговуючий майданчик по формулі (5.55):

$$M_{z1} = 0,85 \cdot q_0 \cdot \theta_1 \cdot (x_1 - x_0) \cdot (1 + 0,75 \cdot \xi \cdot \chi_1 \cdot \mu_1) \cdot A = 0,85 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,115 \cdot (14020 - 1000) \times \\ \times (1 + 0,75 \cdot 1,701 \cdot 0,968 \cdot 0,569) \cdot 8,525 \cdot 10^6 = 7,478 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{z2} = 0,85 \cdot q_0 \cdot \theta_2 \cdot (x_2 - x_0) \cdot (1 + 0,75 \cdot \xi \cdot \chi_2 \cdot \mu_2) \cdot A = 0,85 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,962 \cdot (8850 - 1000) \times \\ \times (1 + 0,75 \cdot 1,701 \cdot 0,455 \cdot 0,6) \cdot 8,525 \cdot 10^6 = 2,926 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$M_{z3} = 0,85 \cdot q_0 \cdot \theta_3 \cdot (x_3 - x_0) \cdot (1 + 0,75 \cdot \xi \cdot \chi_3 \cdot \mu_3) \cdot A = 0,85 \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,65 \cdot (2600 - 1000) \times \\ \times (1 + 0,75 \cdot 1,701 \cdot 0,089 \cdot 0,6) \cdot 8,525 \cdot 10^6 = 1,517 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Визначуваний момент, що вигинає, в перетині z-z від дії вітру з формули (5.40):

$$M_{vz} = \sum_{i=1}^{z-1} P_i(x_i - x_0) + \sum_{J=1}^n M_{zi} = 2,394 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Визначуваний момент, що вигинає, в перетині у-у від дії вітру з формули:

$$M_{vy} = \sum_{i=1}^{z-1} P_i(x_i) + \sum_{J=1}^n M_{yi} \quad (5.57)$$

Визначуваний момент, що вигинає, в перетині у-у від дії вітрового навантаження на обслуговуючий майданчик по формулі:

$$M_{yJ} = 0.85 \cdot q_0 \cdot \theta_J \cdot x_J \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_J \cdot \mu_J) \cdot A$$

$$M_{y1} = 0.85 \cdot q_0 \cdot \theta_1 \cdot x_1 \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_1 \cdot \mu_1) \cdot A = 0.85 \cdot 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,115 \cdot (14020) \times$$

$$\times (1 + 0.75 \cdot 1,701 \cdot 0,968 \cdot 0.596) \cdot 8,525 \cdot 10^6 = 8,627 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_{y2} = 0.85 \cdot q_0 \cdot \theta_2 \cdot (x_2) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_2 \cdot \mu_2) \cdot A = 0.85 \cdot 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,962 \cdot (8850) \times$$

$$\times (1 + 0.75 \cdot 1,701 \cdot 0,455 \cdot 0.6) \cdot 8,525 \cdot 10^6 = 3,742 \cdot 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_{y3} = 0.85 \cdot q_0 \cdot \theta_3 \cdot (x_3) \cdot (1 + 0.75 \cdot \xi \cdot \chi_3 \cdot \mu_3) \cdot A = 0.85 \cdot 4.5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,65 \cdot (2600) \times$$

$$\times (1 + 0.75 \cdot 1,701 \cdot 0,089 \cdot 0.6) \cdot 8,525 \cdot 10^6 = 5,885 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Визначуваний момент, що вигинає, в перетині у-у від дії вітру з формули (5.60):

$$M_{vy} = \sum_{i=1}^{z-1} P_i(x_i) + \sum_{J=1}^n M_{yi} = 2,965 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

5.6 Поєднання навантажень

Поєднання навантажень у відповідний розрахункових перетинах для робочих умов, умов випробування і монтажу приведені таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Індекс умов роботи	Умови роботи	Тиск МПа	Осьове зусилля, Н	Розрахунковий момент, Н·мм
1	Робочі	P=0,1	F ₁ = G ₁ = 263742	M _{1z} = 2,394·10 ⁸ M _{1y} = 2,965·10 ⁸

2	Випробування	P=0,132	F ₂ = G ₂ = 503093	M _{2z} = 2,354·10 ⁸ M _{2y} = 2,913·10 ⁸
3	Монтажу	P=0	F ₃ = G ₃ = 208296 F ₄ = G ₄ = 66009	M _{3z} = 2,378·10 ⁸ M _{3y} = 2,946·10 ⁸

5.7 Розрахунок приведених навантажень і вибір опори

Максимальне приведенне навантаження визначається по формулі

$$Q_{\max} = \left\{ \frac{4M_{1y}}{D_1} + F_{1y}; \frac{4M_{2y}}{D_1} + F_{2y} \right\} \quad (5.58)$$

D_1 - внутрішній діаметр опорної обичайки, для циліндрових опор рівний внутрішньому діаметру корпусу колони, мм;

F_{1y} - розрахункове осьове стискуjące зусилля, що діє на апарат в місці приєднання опорного кільця до корпусу колони в робочих умовах, Н;

M_{2y} - розрахунковий момент, що вигинає, діє на апарат в місці приєднання опорного кільця до корпусу колони в умовах випробування, Н;

F_{2y} - розрахункове осьове стискуjące зусилля в перетині у-у в умовах випробування, Н.

$$Q_{\max} = \max \left\{ \frac{4M_{1y}}{D_1} + F_{1y}; \frac{4M_{2y}}{D_1} + F_{2y} \right\} = \max \left\{ \frac{4 \cdot 2,965 \cdot 10^8}{2000} + 263742; \frac{4 \cdot 2,913 \cdot 10^8}{2000} + 503093 \right\} =$$

$$= \max \left\{ 8,567 \cdot 10^5; 1,086 \cdot 10^6 \right\} = 1,086 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Мінімальне приведенне навантаження

$$Q_{\min} = \frac{4M_{3y}}{D_1} - F_{4y} \quad (5.59)$$

F_{4y} - мінімальне розрахункове осьове стискуjące зусилля в перетині у-у в умовах монтажу, Н.

$$Q_{\min} = \frac{4 \cdot M_{3y}}{D_1} - F_{4y} = \frac{4 \cdot 2,946 \cdot 10^8}{2000} - 66006 = 5,232 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

По приведених навантаженнях приймаємо опору типу 3

5.8 Розрахунок корпусу колонного апарату на міцність

5.8.1 Перевірка міцності корпусу

Розрахунок напруження проводиться в перетині U-U:

для робочих умов:

$$F = F_1 = 263742 \text{ Н}; M = M_1 = 2,965 \cdot 10^8 \text{ М} \cdot \text{мм}; P = P_1 = 0,1 \text{ МПа}$$

для умов монтажу:

$$F = F_4 = 66009 \text{ Н}; M = M_3 = 2,946 \cdot 10^8 \text{ М} \cdot \text{мм}; P = 0$$

Для робочих умов.

Подовжні напруження:

на навітряній стороні розраховуються по формулі

$$\sigma_{x1} = \frac{P \cdot (D+S)}{4 \cdot (S-C)} - \frac{F_1}{\pi \cdot D \cdot (S-C)} + \frac{4 \cdot M_{1z}}{\pi \cdot D^2 \cdot (S-C)} \quad (5.60)$$

$$\sigma_{x1} = \frac{0,1 \cdot (2000+8)}{4 \cdot (8-1,8)} - \frac{263742}{3,14 \cdot 2000 \cdot (8-1,8)} + \frac{4 \cdot 2,965 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 2000^2 \cdot (8-1,8)} = 1,328 \text{ МПа}$$

на підвітряній стороні:

$$\sigma_{x2} = \frac{P \cdot (D+S)}{4 \cdot (S-C)} - \frac{F_1}{\pi \cdot D \cdot (S-C)} - \frac{4 \cdot M_{1z}}{\pi \cdot D^2 \cdot (S-C)} \quad (5.61)$$

$$\sigma_{x2} = \frac{0,1 \cdot (2000+8)}{4 \cdot (8-1,8)} - \frac{263742}{3,14 \cdot 2000 \cdot (8-1,8)} - \frac{4 \cdot 2,965 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 2000^2 \cdot (8-1,8)} = 1,325 \text{ МПа}$$

Кільцеві напруження розраховується по формулі

$$\sigma_Y = \frac{P \cdot (D+S)}{2 \cdot (S-C)} \quad (5.62)$$

$$\sigma_Y = \frac{0,1 \cdot (2000+8)}{2 \cdot (8-1,8)} = 16,19 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження розраховується:

на навітряній стороні:

$$\sigma_{E1} = \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_Y / \varphi_P + (\sigma_Y \cdot \varphi_T / \varphi_P)^2} \quad (5.63)$$

$$\sigma_{E1} = \sqrt{1,328^2 - 1,328 \cdot 16,19/1 + (16,19 \cdot 1/1)^2} = 15,572 \text{ МПа}$$

на підвітряній стороні:

$$\sigma_{E2} = \sqrt{\sigma_{X2}^2 - \sigma_{X2} \cdot \sigma_Y / \varphi_P + (\sigma_Y \cdot \varphi_T / \varphi_P)^2} \quad (5.64)$$

$$\sigma_{E2} = \sqrt{1,325^2 - 1,325 \cdot 16,19/1 + (16,19 \cdot 1/1)^2} = 15,573 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності:

на навітряній стороні

$$\max \{ |\sigma_{X1}|; \sigma_{E1} \} \leq [\sigma]_K \cdot \varphi_T \quad (5.65)$$

$$\max \{ 1,328; 15,573 \} \leq 174 \cdot 1 = 174 \text{ МПа}$$

15,72 < 174 МПа - умова міцності виконується;

на підвітряній стороні

$$\max \{ |\sigma_{X2}|; \sigma_{E2} \} \leq [\sigma]_K \cdot \varphi_T \quad (5.66)$$

$$\max \{ 1,328; 15,573 \} \leq 174 \cdot 1 = 174 \text{ МПа}$$

15,753 < 192 МПа - умова міцності виконується.

Для умов випробування.

Подовжні напруження:

на навітряній стороні:

$$\sigma_{X1} = \frac{0 \cdot (2000 + 8)}{4 \cdot (8 - 1,8)} - \frac{66009}{3,14 \cdot 2000 \cdot (8 - 1,8)} + \frac{4 \cdot 2,946 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 2000^2 \cdot (8 - 1,8)} = -1,693 \text{ МПа}$$

на підвітряній стороні:

$$\sigma_{X2} = \frac{0 \cdot (2000 + 8)}{4 \cdot (8 - 1,8)} - \frac{66009}{3,14 \cdot 2000 \cdot (8 - 1,8)} - \frac{4 \cdot 2,946 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 2000^2 \cdot (8 - 1,8)} = -1,696 \text{ МПа}$$

Кільцеві напруження :

$$\sigma_Y = \frac{0 \cdot (2000 + 8)}{2 \cdot (8 - 1,8)} = 0 \text{ МПа}$$

Еквівалентні напруження:

на навітряній стороні:

$$\sigma_{E1} = \sqrt{(-1,693)^2 - 1,693 \cdot 0/1 + (0 \cdot 1/1)^2} = 1,693 \text{ МПа}$$

на підвітряній стороні:

$$\sigma_{E2} = \sqrt{(-1,696^2) - 1,696 \cdot 0/1 + (0 \cdot 1/1)^2} = 1,696 \text{ МПа}$$

Перевірка умови міцності:

на навітряній стороні

$$\max \{ |\sigma_{x1}|; \sigma_{E2} \} \leq [\sigma]_K \cdot \varphi_T$$

$$\max \{ -1,693; 1,696 \} \leq 174 \cdot 1 = 174 \text{ МПа}$$

1,696 < 174 МПа - умова міцності виконується;

на підвітряній стороні

$$\max \{ |\sigma_{x2}|; \sigma_{E2} \} \leq [\sigma]_K \cdot \varphi_T$$

$$\max \{ 1,696; 15,573 \} \leq 174 \cdot 1 = 174 \text{ МПа}$$

1,696 < 192 МПа - умова міцності виконується.

5.9 Розрахунок опорної обичайки

5.9.1 Розрахунок зварного шва, що з'єднує корпус колони з опорною обичайкою.

Міцність зварного шва в перетині z-z для робочих умов

$$\sigma_x = \frac{1}{\pi \cdot D_1 \cdot a} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_{VZ}}{D_1} + F_z \right) \leq \varphi \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_K \} \quad (5.67)$$

a - товщина зварного шва в місці приварювання до корпусу колони опорної обичайки, рівна меншій з товщини корпусу колони і опорної обичайки, мм.;

φ - коефіцієнт міцності зварного шва;

$[\sigma]_0$ - напруження, що допускаються, для опорної обичайки при розрахунковій температурі, МПа;

M_{VZ} - момент, що вигинає, від дії вітрового навантаження в перетині z-z, Н·мм.

Розрахункова температура опорної обичайки за робочих умов 100°C [17].

$[\sigma]_0^{150} = 149 \text{ МПа}$; в умовах випробувань $[\sigma]_0^{20} = 154 \text{ МПа}$

$$\sigma_x = \frac{1}{3.14 \cdot 2000 \cdot 8} \cdot \left(\frac{4 \cdot 2,394 \cdot 10^8}{2000} + 263742 \right) = 14,772 \text{ МПа}$$

$$\varphi \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_K \} = 0,9 \cdot \min \{ 149; 174 \} = 127,8 \text{ МПа}$$

14,772 < 127,8 (МПа), умова виконується.

Міцність зварного шва в перетині z-z для умов випробування.

За розрахункову температуру в умовах випробувань приймаю 20°C.

$$[\sigma]_0 = 154 \text{ МПа}; [\sigma]_K = 184 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_x = \frac{1}{3.14 \cdot 2000 \cdot 8} \cdot \left(\frac{4 \cdot 2,354 \cdot 10^8}{2000} + 503093 \right) = 19,375 \text{ МПа}$$

$$\varphi \cdot \min \{ [\sigma]_0; [\sigma]_K \} = 0,9 \cdot \min \{ 154; 184 \} = 138,6 \text{ МПа}$$

19,375 < 138,6 (МПа), умова виконується.

5.9.2 Розрахунок на стійкість опорної обичайки в зоні отворів.

Стійкість опорної обичайки в зоні отворів (перетин х-х) в робочих умовах визначаю по формулі:

$$\frac{F_Y}{\psi_1 \cdot [F]} + \frac{M_{VY} + F_Y \cdot \psi_3 \cdot D_1}{\psi_2 \cdot [M]} \leq 1.0 \quad (5.68)$$

M_{VY} - момент, що вигинає, від дії вітрового навантаження в перетині Y-Y, Н·мм;

$[F]$ - осьове стискуjące зусилля, що допускається, для опорної обичайки, Н;

$[M]$ - вигинає момент, що допускається, для опорної обичайки, Н·мм;

ψ_1, ψ_2, ψ_3 - коефіцієнти.

$$[F] = \frac{[F]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{II}}{[F]_E} \right)^2}} \quad (5.69)$$

де осьове стискуjące зусилля, що допускається, з умови відповідно міцності і стійкості в межах пружності, Н.

$$[F]_{II} = \pi \cdot (D + S - C) \cdot (S - C) \cdot [\sigma]_0 \quad (5.70)$$

$$[F]_{II} = 3.14 \cdot (2000 + 8 - 1,8) \cdot 149 = 9,391 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$[F]_E = \min \{ [F]_{E1}; [F]_{E2} \} \quad (5.71)$$

Осьове стискуjące зусилля, що допускається, з умови місцевої стійкості в межах пружності.

$$[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} D^2 \cdot E_0}{n_y} \cdot \left[\frac{100(S-C)}{D} \right]^{2,5} \quad (5.72)$$

де коефіцієнт запасу стійкості;

$n_y = 2.4$ – для робочих умов.

$$[E]_0 = 1,98$$

$$[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2000^2 \cdot 1,98 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (8-1,8)}{2000} \right]^{2,5} = 5,474 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Осьове стискуjące зусилля, що допускається, з умови загальної стійкості в межах пружності.

Оскільки $\frac{L}{D} = \frac{1930}{2000} = 0,96 < 10$ то $[F]_E = [F]_{E1} = 5,474 \cdot 10^6 \text{ Н}$.

Визначаю осьове стискуjące зусилля по формулі (5.72):

$$[F] = \frac{9,391 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{9,391 \cdot 10^6}{5,474 \cdot 10^6} \right)^2}} = 9,256 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Вигинає момент, що допускається, для корпусу опорної обичайки, Н·мм.

$$[M] = \frac{[M]_{II}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[M]_{II}}{[M]_E} \right)^2}} \quad (5.73)$$

де вигинає момент, що допускається, з умови міцності, Н·мм;

$[M]_E$ – вигинає момент, що допускається, з умови стійкості в межах пружності, Н·мм.

Вигинає момент, що допускається, з умови міцності.

$$[M]_{II} = 0.25 \cdot D \cdot [F]_{II} \quad (5.74)$$

$$[M]_{II} = 0.25 \cdot 2000 \cdot 9,256 \cdot 10^6 = 4,695 \cdot 10^8 \text{ Н·мм}$$

Вигинає момент, що допускається, з умови стійкості

$$M_E = 0.3 \cdot D \cdot [F]_E \quad (5.75)$$

$$M_E = 0.3 \cdot 2000 \cdot 5,474 \cdot 10^6 = 3,284 \cdot 10^9 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Вигинає момент, що допускається, для корпусу опорної обичайки визначуваний по формулі (5.76):

$$[M] = \frac{4,695 \cdot 10^8}{\sqrt{1 + \left(\frac{4,695 \cdot 10^8}{3,284 \cdot 10^9}\right)^2}} = 2,224 \cdot 10^9 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Коефіцієнти визначають залежно від співвідношень:

$$b/D; \quad d/D; \quad (S_2 - C_0)/(S_1 - C_0) \quad (5.76)$$

S_2 – виконавча товщина стінки зміцнюючого штуцера, мм;

d – середній діаметр найбільшого зміцнюючого штуцера, мм;

S_1 – виконавча товщина стінки опорної обичайки, мм.

$$b/D = 220/2000 = 0,11$$

$$d/D = 700/2000 = 0,35$$

$$(S_2 - C_0)/(S_1 - C_0) = (8 - 0,8)/(8 - 0,8) = 1$$

$$\psi_1 = 0,94; \quad \psi_2 = 0,86; \quad \psi_3 = 0,05$$

Перевіряю умову міцності по формулі (5.71):

$$\frac{263742}{0,94 \cdot 9,256 \cdot 10^5} + \frac{2,965 \cdot 10^8 + 263742 \cdot 0,05 \cdot 2000}{0,86 \cdot 2,224 \cdot 10^6} \leq 1,0$$

$$0,759 < 1,0 \text{ – умова міцності виконується}$$

Стійкість опорної обичайки в зоні отворів (перетин х-х) в умовах випробувань.

Осьове стискує зусилля, що допускається, з умови міцності визначимо по формулі (5.72) в умовах випробувань.

$$[F]_{II} = 3,14 \cdot (2000 + 8 - 1,8) \cdot 154 = 9,706 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

Осьове стискує зусилля, що допускається, з умов місцевої стійкості в межах пружності визначаю по формулі (5.75):

$$[F]_{E1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2000^2 \cdot 1,99 \cdot 10^5}{1,8} \cdot \left[\frac{100 \cdot (8 - 1,8)}{2000} \right]^{2,5} = 5,501 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Оскільки $\frac{L}{D} = \frac{1929}{2000} = 0,96 < 10$ то $[F]_E = [F]_{E1} = 5,501 \cdot 10^6 \text{ Н}$.

$$[F] = \frac{9,706 \cdot 10^5}{\sqrt{1 + \left(\frac{9,706 \cdot 10^5}{5,501 \cdot 10^6}\right)^2}} = 9,558 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$[M]_{II} = 0,25 \cdot 2000 \cdot 9,706 \cdot 10^5 = 4,853 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$M_E = 0,3 \cdot 2000 \cdot 5,501 \cdot 10^6 = 3,301 \cdot 10^9 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$[M] = \frac{4,853 \cdot 10^8}{\sqrt{1 + \left(\frac{4,853 \cdot 10^8}{3,301 \cdot 10^9}\right)^2}} = 2,224 \cdot 10^8 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Коефіцієнти - такі ж як і для розрахунку в робочих умовах.

$$\frac{503093}{0,94 \cdot 9,558 \cdot 10^5} + \frac{2,913 \cdot 10^8 + 503093 \cdot 0,05 \cdot 2000}{0,96 \cdot 2,224 \cdot 10^8} \leq 1,0$$

$0,734 < 1,0$ – умова міцності виконується.

5.10 Розрахунок довжини перехідної частини опорної обичайки з корозійної сталі

Розрахункова температура, що допускається, в місці стику перехідної і опорної обичайок, визначається по формулі:

$$t_c = \frac{2 \cdot [\sigma]_0 \cdot \left(1 - \frac{F_{1y}}{[F]} - \frac{M_{1y}}{[M]}\right)}{(\alpha_{1t} - \alpha_{2t}) \cdot E_K} \quad (5.77)$$

де температурні коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно перехідної і опорної обичайок, $1/^\circ\text{C}$;

$[F]$, $[M]$ – осьові стискуючі зусилля, що допускаються, Н, і момент, що вигинає, Н·мм, на опорну обичайку для робочих умов.

$$\alpha_{1t} = 9,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}; \quad \alpha_{2t} = 11,6 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$$

$$t = 0,19 \cdot \sqrt{D \cdot S_1} \quad (5.78)$$

$$t = 0,19 \cdot \sqrt{2000 \cdot 8} = 24^\circ\text{C}$$

$$[\sigma]_0 = 142 \text{ МПа}$$

$$[E]_{II} = 199 \cdot 10^3 \text{ МПа}$$

$$t_c = \frac{2 \cdot 149 \cdot \left(1 - \frac{263742}{9,256 \cdot 10^5} - \frac{2,965 \cdot 10^8}{2,224 \cdot 10^8} \right)}{\left| (9,6 \cdot 10^{-6} - 11,6 \cdot 10^{-6}) \right| \cdot 199 \cdot 10^3} = 627^\circ \text{C}.$$

Різниця температур в днищі і що допускається в місці стику

$$\Delta t = t_K - t_C \quad (5.79)$$

$$\Delta t = 100 - 627 = -527^\circ \text{C} . \text{ Приймаємо } .$$

Розрахункова довга перехідної обичайки.

$$h_{IP} = 5.263 \cdot \Delta t \quad (5.80)$$

$$h_{IP} = 5.263 \cdot 0 = 0 \text{ мм} .$$

Виконавча довжина перехідної обичайки .

$$h_{II} = \max \{ h_{IP}; \sqrt{D \cdot S_1}; 200 \} \quad (5.81)$$

$$h_{II} = \max \{ 0; 126; 200 \} = 200 \text{ мм} .$$

6 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ АПАРАТУ

Даний колонний апарат складається з наступних основних складових частин: циліндрова обичайка, еліптичні днища, циліндрова опора, металева насипна насадка (кільця Паля), штуцера, люки, розподільні тарілки.

Виготовлення циліндрових обичайок. Проводиться розмітка листових заготовок з метою вказівки меж обробки і раціонального розкрою листа для якнайповнішого використання металу. Розмітка проводиться на розмічальних столах або плитах. По маркіровці листа перевіряється відповідність марки металу, довжини, товщина і ширина листа вимогам креслення. Лист укладається на розмічальний стіл маркіровкою вгору і на нім розмічається базова риски уздовж кромки з найменшою серповидністю і перекосом. На листі розмічаються риски під відрізок, риски з непаралельністю не більше 1 мм під стругання і контрольні риски. Різання листа здійснюють на ножицях гільйотин. Після різання здійснюють обробку кромки на кромкострогальному верстаті. Після цього лист подається до пресу для підгибки кромки. Після підгибки кромки лист подається до листогибочної машини з трьома валками розташованими симетрично, де листу додається необхідна кривизна з урахуванням пружнення матеріалу обичайки. Збірку подовжнього стику проводять гідравлічно струбцинами. Після приварювання на роликоопорах заводної і вихідної планок зварним трактором проводиться зварка внутрішнього шва на подушці флюсу, а після зачистки кореня шва зварюється зовнішній подовжній шов. Після зварки зовнішнього шва на стенді шов зачищають, знімають посилення і видаляють вхідну і вихідну планки. Далі обичайка подається до листогибочної машини на правку, контролюються зварні шви ультразвуковою дефектоскопією. Отвори в обичайці під штуцера обробляють вирізкою газовим різакон з попередньою розміткою.

Виготовлення еліптичного днища виконують за технічними умовами на виготовлення і постачання днищ, які викладені в стандартах на днища, ГСТУ 3-17-191-2000. Днища можна виготовляти штампуванням на пресах, методом обкатки роликками, електрогідравлічним і електромагнітним штампуванням. Формування

днища методом штампування на пресах проводять в наступному порядку. Заготовка за допомогою транспортера подається в нагрівальну піч для рівномірного нагріву до необхідної температури. Нагріта заготовка спеціальними захопленнями витягується з печі і подається на транспортер, за допомогою якого транспортується до штампу, що знаходиться під пресом. Потім заготовку встановлюють на протяжне кільце і штампують, як правило, за одну операцію. В процесі штампування нагріта заготовка швидко охолоджується і напресовується на пуансон. Для полегшення знімання відштампованого днища пуансон, призначений для штампування, виконується з двох часток: грибка і формуючого кільця. Заготовка знімається при ході пуансона вгору. Завершуючі операції передбачають розмітку днищ для підрізування торця і розмітку отворів, підрізування торця і обробку отворів, термообробку, очищення, контроль і таврування.

Виготовлення фланців. Заготовки для фланця отримують гнучкою прокату. Технологічний процес виготовлення заготовок по цьому методу полягає в розрізанні смуги або профілю на мірні заготовки, гнучкі в кільце і стиковій зварці. Далі заготовки піддають механічній обробці, обробляють поверхні ущільнювачів і внутрішній діаметр фланця. Потім висвердлюються отвори під болти. Фланці штуцерів штампують у відкритих штампах. За один хід преса прошивають отвори і обрізують задирки на кривошипних пресах в комбінованих штампах. Отримані заготовки також механічно обробляють.

Відповідальним пунктом при виготовленні фланців є розмітка отворів під болти або шпильки. Розмітка повинна забезпечувати повний збіг отворів фланців, що сполучаються, при будь-якому вугіллі повороту одного щодо іншого.

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

Прокладки з пораніту виготовляються наступним способом: діаметром от 25 до 250 мм – штампуванням, діаметром до 750 мм – вирізують з листа спеціальними пристосуваннями.

Збирання колони.

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

- збірка і зварка секцій корпусу;
- збірка корпусу колони;
- розмітка корпусу;
- установка деталей і складальних одиниць тарілок і інших елементів внутрішньої начинки, що приварюються до корпусу;
- збірка нижнього днища і корпусу вертикальної опори;
- контроль положення приварюваних внутрішніх деталей колони і їх зварки з корпусом;
- установка і приварювання штуцерів, люків до корпусу колони;
- установка знімних деталей і складальних одиниць внутрішніх елементів колони;
- збірка і зварка часток корпусу колони, випробування, обробка, і підготовка колони до відвантаження або монтажу у випадку до виготовлення на монтажному майданчику.

Збірка і зварка секцій корпусу колони. При розбитті корпусу колони на секції враховуються наступні чинники: секції по довжині мають бути транспортабельні по залізницях, вага секції колони без встановлених знімних деталей не повинна перевищувати вантажопідйомні можливості заводу-виготівника і підприємства-замовника.

Обичайки, що поступають на збірку, мають бути виготовлені відповідно до технічних вимог і мати механічно оброблені і оброблені під зварку, згідно кресленню, кромки. Збірка секцій виконується послідовним нарощуванням обичайок згідно карті розкрою корпусу на стенді збірки кільцевих стиків. Розташування подовжніх швів обичайок повинне унеможливити попадання люків і штуцерів

діаметром більше 150 мм на подовжні шви обичайок. Після контролю секція подається на стенд для зварки кільцевих швів. Якість зварних з'єднань контролюється рентгенівськими променями або ультразвуком. Після виправлення дефектів секції поступають на стенд спільної збірки корпусу. Після установки секцій на стенд з метою усунення овальності проводиться калібрування корпусу роз'ємними і нероз'ємними калібрувальними кільцями. З метою фіксації досягнутої після калібрування форми застосовуються бандажні кільця, які встановлюються по кінцях секцій, а також усередині них на відстані 3-4 м одне від іншого. Після збірки і приварювання деталей тарілок бандажні кільця знімаються, за винятком розташованих поблизу монтажних стиків – ці кільця віддаляються тільки після збірки і зварки секцій корпусу на монтажі.

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

Розмітка є основною технологічною операцією установки внутрішніх устроїв апарату, його люків, штуцерів і інших деталей і складальних одиниць. Розмітка корпусу під установку люків, штуцерів і інших складальних одиниць і деталей корпусу колони проводиться шляхом нанесення розмірів від головних осей корпусу колони відповідно докреслення і його карти розкрою. Зовнішня розмітка корпусу має бути строго узгоджена з його внутрішньою розміткою.

Установка зовнішньої арматури. Після розмітки корпусу проводиться вирізка отворів для установки люків, штуцерів і інших елементів арматури колони. Вирізку отворів під люки і штуцери, розташовані поблизу від стиків днищ з корпусом проводять після приварювання днищ до корпусу і зварки монтажних стиків. Цим усувається вплив місцевої деформації корпусу, пов'язаної з великим об'ємом металу, наплавленого при зварці. Після збірки арматури зварюють внутрішні шви з'єднання арматури з корпусом колони. Щоб зменшити вплив деформації від на-

плавленого металу зварних швів на точність корпусу, зварку зовнішніх швів з'єднань проводять після установки і приварювання внутрішніх незнімних деталей і складальних одиниць тарілок. Виняток становлять ті зварні з'єднання штуцерів і муфт, які перекриваються при установці внутрішніх устроїв колони, а тому неможливий або утруднений процес зварки вказаних складальних одиниць з корпусом колони і контроль її якості [20].

Виготовлення тарілок.

Полотна тарілок виготовляються з листового прокату, матеріал – сталь 10X17H13M2T товщиною 2мм. після правки листа вирізку заготовок проводять на ножицях гільйотин. Вирубка отворів в полотні тарілки проводиться в штампі. остаточною операцією є правка полотна тарілки на листопрямильній машині: неплоскостність не повинна перевищувати 2 мм на всій довжині [21,22].

Нарізувати патрубку з труби діаметром 57 мм з товщиною стінки 2,5 мм. Матеріал труби сталь 10X17H13M2T. Прорізати пази на глибину 32 мм і шириною 4 мм. З іншого торця патрубка нарізувати зуби з кутом при вершині 60° і висотою 10 мм. Виконати збірку тарілки з патрубками пазами вгору. Патрубок над полотном тарілки повинен виступати на 45 мм при спільній висоті патрубка 70 мм. Приварити патрубки по контуру аргонодуговою зваркою. Висота наплавленого металу не повинна перевищувати 3 мм.

Розмітити і виготовити збірку тарілки з листа завтовшки 2 мм. Виготовити і приварити кронштейни до збірки тарілки. Провести збірку тарілки.

Установка опорних елементів тарілок. Перед установкою внутрішніх устроїв необхідно змонтувати в корпусі апарату технологічну двотаврову балку талью. Балка має бути приварена до корпусу апарату переривистим швом. По її кінцях мають бути встановлені обмежувачі руху. Приварювання опорних елементів тарілок до корпусу і між собою рекомендується виконувати згідно кресленню в наступному порядку з обов'язковою зачисткою місць під зварку: сегмент до корпусу назад - ступінчастим швом; косинець сегменту до корпусу; косинки до корпусу і сегменту; перегородка до корпусу назад-ступінчастим швом; косинець перегородки до корпусу; опорні півкільця до корпусу назад-ступінчастим швом; косинки до

корпусу і півкілець. Після приварювання внутрішніх елементів колони зварюються зовнішні шви з'єднань люків, штуцерів, муфт і інших елементів арматури з корпусом апарату.

Випробування і контроль цих з'єднань мають бути проведені до постановки знімних внутрішніх устроїв.

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

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

Контроль зварних з'єднань.

В процесі виготовлення апарату повинно перевірятимуться:

відповідність металу зварюваних деталей і зварювальних матеріалів вимогам стандартів, що діють, і технічних умов;

відповідність якості підготовки кромки і збірки під зварку вимогам стандартів, що діють, і кресленням;

дотримання технологічного процесу зварки розробленою відповідно до вимог стандартів, що діють.

Контроль зварних швів.

Контроль зварних з'єднань проводиться наступними методами:

зовнішнім оглядом і виміром;

механічними випробуваннями;

гідравлічним випробуванням;

рентгенівським способом.

7 РЕМОНТ І МОНТАЖ КОЛОНИ

7.1 Перевірка і приймання фундаменту під монтаж колони.

При здачі під монтаж фундаментів розташованих на відкритих майданчиках, має бути закінчена на прилеглих територіях укладання підземних комунікацій і проведена зворотна засипка ґрунту з його ущільненням.

Фундаменти, на яких встановлюється устаткування з подальшою підливкою розчину, здаються під монтаж забетонованими до рівня 50-80 мм нижче за відмітку опорної поверхні устаткування, а в місцях виступаючих ребер жорсткості в підставі устаткування – на 50-80 мм нижче за відмітку цих ребер.

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

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

При прийманні по головних осях фундаменту натягують струни, положення яких визначають по схилах, прикріплених до струн і зафіксованих відносно рисок на відповідних заставних деталях фундаменту. Особливу увагу необхідно приділяти перевірці правильності розташування і розмірам анкерних колодязів.

7.2 Підйом колони і установка в проектне положення

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

7.3 Підготовка до ремонту колонного апарату

Після зняття вакууму в колоні і доведення тиску до атмосферного, з неї видаляють весь продукт, що залишився, а потім приступають до пропарювання.

Після пропарювання колона промивається водою і провітрюється. Провітрювання необхідне для охолодження колони і доведення концентрації продуктів в ній до допустимих санітарних норм. Після закінчення провітрювання

слід зробити аналіз повітря, взятого з різних по висоті колони місць. До робіт усередині колони дозволяється приступати тільки тоді, коли аналіз покаже, що концентрація шкідливих газів і пари не перевищує гранично допустимих санітарних норм. Суцільнозварні колони при ремонті не демонтуються. Демонтуються тільки внутрішні устрої колон. Після підготовчих операцій відкриваються люки колони. Для полегшення праці робітників, зайнятих на цій роботі, передбачаються на кришках люків підйимально-поворотні механізми. Люки слід відкривати в строгій послідовності, починаючи з верхнього, коли колона знаходиться під пором, для запобігання струму повітря через колона при одночасному відкритті нижнього і верхнього люків.

При відкритих люках колона провітрюється в течії 4-6 годин.

Капітальний ремонт здійснюється з метою відновлення справності, повного або близького до повного відновлення ресурсу устаткування із заміною або відновленням будь-яких його часток, включаючи базові.

Тарілки розбираються усередині колони, виносяться через люки на обслуговуючі майданчики і транспортуються для чищення і ремонту. Часто виявляється можливим проведення чищення тарілок усередині апарату. Спуск секцій тарілок здійснюється встановленою у верхній частці колони поворотної кран-укосиною потрібної вантажопідйомності. Укосина повинна мати достатній виліт і висоту стріли для демонтажу шламової труби і піднімати або спускати деталі внутрішніх устроїв, не зачіпаючи обслуговуючих майданчиків. Кран-укосина через систему направляючих роликів і блоків з'єднується з лебідкою, встановленою на землі на необхідній відстані від працюючих апаратів і ремонтваної колони. Лебідка повинна мати барабан забезпечувати через кран-укосину підйом вантажу безпосередньо з нульової відмітки. Колона має обслуговуючі майданчики.

Монтаж і демонтаж секцій тарілок, розташованих усередині колони, проводиться за допомогою блоків і поліспастів відповідної вантажопідйомності. Для цього верхня обойма поліспасту або блоку кріпиться до штуцера, розташованого на рівні люка, або до рами тарілки.

При ремонті і обслуговуванні колон насадок основна увага приділяється очищенню внутрішніх устроїв апарату, його корпуси і заміні кілець насадок.

За допомогою лебідки, бадді і кран-укосини до будь-якого люка подаються нові кільця насадок і опускаються вниз старі. Для завантаження і вивантаження насадки зазвичай використовуються бадді з днищем, що відкривається, і змінні переносні лотки, завдяки яким значно скорочуються трудомісткі роботи.

Для вивантаження кілець можуть застосовуватися стаціонарні лотки, які можна встановити як зовні, так і усередині обслуговуючих майданчиків. Швидкості падаючих кілець гасяться в кінці лотка. Для цього передбачається бункер із затвором-шибером, яким регулюється надходження кілець у воронку пересувного контейнера, що поставляє їх в самоскид або спеціальний контейнер.

Для безпечного ефективного технічного огляду і ремонту апаратів використовується спеціальна підвісна платформа, елементи якої вводяться в апарат через люк і збираються усередині апарату. Платформа, що піднімається тросом, дозволяє виконувати огляд і чищення внутрішньої поверхні апарату, огляд зварних швів, ремонт внутрішньої поверхні апарату, контроль поверхонь ущільнювачів і заміну прокладок.

Демонтаж корпусу суцільнозварних колон проводиться при необхідності заміни частці корпусу, найчастіше унаслідок корозії.

7.4 Гідравлічне випробування апарату

Ремонт колони закінчується випробуванням. Для випробування необхідно застосовувати воду з температурою не нижче +5 °С і не вище +40° С, причому вміст хлоридів у воді при використанні судин з вуглецевої сталі не повинен перевищувати допустимого значення (1 частка хлоридів на 1000000 часток води). Різниця температури стінки апарату і навколишнього повітря не повинна викликати випадання вологи на поверхні корпусу апарату.

При гідравлічному випробуванні колона заповнюється водою при відкритій воздушке, встановлюваної у верхній частці колони. Поява води у воздушке свідчить про заповнення колони. Після закриття воздушки тиск в колоні повільно підвищується до контрольної величини. Пі цьому тиску апарат витримується 5

хвилин. Тиск контролюється по двох манометрах одного типа, однієї межі виміру, одного класу точність не нижче 2,5 і однієї ціни ділення.

Для гидроиспытания корпусу колони що працює під вакуумом тиск прийняти рівним 1 кг/см² згідно ГСТУ 3-17-191-2000.

Після випробування колони необхідно злити воду з апарату, разболтив верхнє фланцеве з'єднання для доступу повітря. Після зливу води очистити апарат від грязі, сміття і інших сторонніх предметів. Провести завантаження насадки в апарат.

Для того, щоб насадка ефективно працювала, вона повинна задовольняти наступним основним вимогам: володіти великою поверхнею в одиниці об'єму, добре змочуватися зрошуючою рідиною, чинити малий гідравлічний опір газовому потоку, рівномірно розподіляти рідину, бути стійкою в корозійній середі, мати малу питому вагу, володіти високою механічною міцністю, мати невисоку вартість. Цим вимогам відповідають кільця Паля.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Під охороною праці розуміють систему законодавчих актів, соціально – економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально – профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатність людини в процесі праці.

8.1 Основні фізико – хімічні властивості, токсичність, пожеже- та вибухонебезпечність речовин, що застосовуються і виробляються на виробництві, яке проектується

Таблиця 8.1 Основні фізико – хімічні властивості речовин, що застосовуються і виробляються на виробництві адипінової кислоти

Назва речовини	Агрегатний стан при н. умовах	Температура плавлення °С	Температура кипіння °С	примітки
Азотна кислота	рідина	-42	83,8	
Циклогексанол	рідина	23,9	161,1	
Циклогексанон	рідина	-32,2	155,7	
Адипінова кислота	тверда речовина	151,5	205,3	
Сірчана кислота	рідина	97,3	330	
Оксиди азоту	газ	-164	-152	
Аміак	газ	-77,7	-33,35	
Азот	газ	-210,0	-195,802	

Характеристика пожеже і вибухонебезпеки сировини, напівпродуктів, і готового продукту

Таблиця 8.2 Характеристика пожеже і вибухонебезпеки сировини, напівпродуктів, і готового продукту

Найменування сировини, напівфабрикатів, готового продукту, відходів виробництва	Температура °С			Межі вибухаємості % об'єм.; при 20 °С	
	спалаху	займання	самозаймання	верхній	нижній
Циклогексанол	61	-	300	8,5	1,3
Циклогексанон	44	-	420	0,92	3,5
Адипінова кислота	-	196	825		
Суміш дикарбонових кислот	-	-	202	-	-
Аміак газоподібний		-	650	28	15,0

Токсичні властивості сировини, напівпродуктів, готового продукту

Таблиця 8.3 Токсичні властивості сировини, напівпродуктів, готового продукту

Речовина	Клас небезпеки	ГДК мг/м ³	Характер дії на організм людини	Способи індивідуальної захисту
Циклогексанол	4	200	Токсичний. Діє на організм як наркотик. Легко проникає через шкіру, при попаданні на рогівку ока викликає її омертвіння.	Протигаз марки М, що фільтрує, захисні окуляри марки Р.
Циклогексанон	4	10	Токсичний. Діє на організм як наркотик, викликає подразження очей, носа, горла, сильні головні болі і запаморочення.	Протигаз марки М, що фільтрує, захисні окуляри марки Г, спецодяг.
Оксиди азоту	3	2	Токсичні. Дратують верхні дихальні шляхи і очі, у великих концентраціях викликають набряк легенів.	Протівогаз марки «М».
Адіпінова кислота	3	4	Малотоксична. Викликає роздратування верхніх дихальних шляхів.	Респіратор УК-2К
Суміш дикарбонових кислот	3	4	Малотоксична. Викликає роздратування верхніх дихальних шляхів.	Протівогаз марки «М».
Азотна Кислота	3	5	Токсична. Пари викликають роздратування дихальних шляхів, приводять до руйнування зубів і рогівки очей.	Протівогаз марки «М», рукавиці кисло-лужні
Метаванадат амонія	2	0,5	Токсичний, дратує слизову оболонку носа і очей.	Протигаз марки М, що фільтрує, захисні окуляри марки Р.
Аміак	4	20	Токсичний. Пари викликають роздратування дихальних шляхів. При тривалому вдиханні приводить до набряку легенів.	Протівогаз марки «М».
Їдкий натр	2	0,5	Їдка речовина. При попаданні на шкіру дратує її, викликає хімічні опіки, при тривалій дії – виразки, екзема. При попаданні в очі приводить до утворення більма або повної втрати зору.	Протигаз марки М, що фільтрує, захисні окуляри марки Г, спецодяг.

8.2 Шкідливі виробничі фактори на проєктованому виробництві

Процес отримання адіпінової кислоти шляхом окислення циклогексанолу азотною кислотою у присутності каталізатора при температурі 75 – 88°C і тиску не вище 7 кПа є вибухонебезпечним і пожеженобезпечним виробництвом. У

відділенні отримання адіпінової кислоти є наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники:

1. Група фізичних небезпечних і шкідливих чинників:

- машини і механізми, незахищені елементи виробничого устаткування;
- підвищена запилена і загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму і вібрації на робочому місці (основними джерелами шуму в цеху є вакуум, ротаційні повітродувки, відцентрові вентилятори, відцентрові насоси);
- підвищена або знижена вологість повітря робочої зони;
- недостатність освітлення робочої зони;
- транспортуванням по трубопроводах гарячих розчинів адіпінової, азотної кислоти;
- застосуванням для обігріву пари з тиском не менше 0,45 МПа
- небезпекою попадання під автомобільний і залізничний транспорт;
- наявністю високої температури.

2. Група хімічно небезпечних і шкідливих чинників:

- по характеру дії на організм людини:
 - загальнотоксичні і дратівливі;
- по шляху проникнення в організм людини:
 - що діють на дихальні шляхи людини і через травну систему, а так само через шкіру людини.

8.3 Класифікація і категорійність виробництва і його приміщень

Таблиця 8.4 Класифікація і категорійність приміщень виробництва

Найменування цеху відділення установки	Категорія приміщення по взривопожароопасности відповідно з ОНТП 24-86	Категорія технологічних блоків по рівню вибухонебезпеки (соот. ОПВ-88)	Класифікація приміщень і зовнішніх установок за електроустаткуванням (ДНАОП 0.00-1.32-01)		Група виробничого процесу по санітарній характеристиці відповідно Сніп 2. 09.04
			Клас приміщення	Категорія і група вибухонебезпечних сумішей	
1	2	3	4	5	6
1.Склад продуктів	A	III	2	IIA-T2 (по циклогексано-	Iб

				лу)	
2.Насосна складу продуктів	Б	III	2	ПА-Т2 (по циклогексанолу)	16
1	2	3	4	5	6
3. Склад АДК	Б	III	22	-	2 г
4. Корпус, насосна стадія окислення циклогексанолу (анолонна).	Б	III	2	ПА-Т2 (по циклогексанолу)	3 б
5.Корпус, зовнішня установка стадія окислення циклогексанолу (анолонна).	Б	III	2	ПА-Т2(по циклогексанолу)	3 б
6.Корпус, вузол розміщення аміачних випарників.	Б	III	2	ПА-Т1(по аміаку)	3б
8.Корпус, зарядний пункт.	А	III	2	ПА-Т1(по водню)	3б

По санітарній класифікації виробництво адіпінової кислоти можна віднести до 2-ої групи з санітарною захисною зоною шириною 500 м.

8.4 Засоби захисту від шкідливих виробничих чинників

8.4.1 Вентиляція

Розміщення і правильна експлуатація вентиляційних установок в цеху повинні забезпечувати в зоні перебування тих, що працюють, стан відповідний вимогам 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 і опалювальні установки не повинні створювати шуму, що перевищує допустимі норми.

Для обслуговування вентиляційних установок розпорядженням начальника цеху призначаються відповідальні особи по обслуговуванню установок.

Без відома і 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 і ін.).

В разі зупинки вентиляційної установки у зв'язку з ремонтом або аварією майстер зміни зобов'язаний підтвердити своїм підписом в рапорті майстра зміни причини і тривалість перерви в роботі вентиляційній установці.

Всі вентиляційні установки, як знов обладнані, так і що пускаються в роботу після реконструкції або капремонту, піддаються приймальним випробуванням. Порядок догляду за вентиляційними установками має бути встановлений відповідно до вимог "Інструкції з експлуатації вентиляційних систем в цехах».

8.4.2 Освітлення приміщень

Залежно від джерела світла освітлення може бути природним (сонячне світло) і штучним (від джерел електричного струму), а також поєднаним, при якому недостатнє по нормах природне освітлення доповнюється штучним.

У цеху передбачається природне і штучне освітлення на робочих місцях. Природне освітлення здійснюється через вікна, розміри яких виконані по будівельним нормам.

Штучне освітлення передбачається трьох видів:

- робоче;
- аварійне (для продовження робіт);
- евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації).

Робоче освітлення передбачається для всіх приміщень, а також для всіх ділянок відкритих просторів, призначених для робіт, проходу людей і руху транспорту.

В якості джерел світла застосовуються люмінесцентні лампи і лампи розжарювання. Лампи розжарювання застосовуються для освітлення вибухонебезпечних приміщень і зовнішніх установок.

Світильники робочого і світильники аварійного освітлення підключаються до різних щитків.

Управління робочим і аварійним освітленням приміщень здійснюється за допомогою місцевих вимикачів.

Управління зовнішнім освітленням етажерок і майданчиків з устаткуванням здійснюється дистанційно з ЦПУ.

Для ремонтного освітлення передбачається мережа на знижену напругу 12 і 36 в.

8.4.3 Засоби боротьби з шумом й вібрацією

Джерелами шуму в цеху є: компресори, насоси, вентиляційні системи, різні установки. Ці джерела шуму також є і джерелом вібрації.

Ефективними засобами боротьби з шумом і вібрацією є:

балансування двигунів і частин, що обертаються;

ізоляція фундаменту;

застосування демпфуючих матеріалів (азбесту, гуми);

зниження рівня шуму, за рахунок збільшення діаметрів газовідводів.

Для зниження рівня шуму, який з'являється при переміщенні газів і рідин по трубопроводах, застосовують трубопроводи більшого діаметру для зниження швидкості руху і відповідно шуму.

Також ефективним засобом є індивідуальні засоби захисту. Для боротьби з шумом в цеху застосовуються:

Протигаласливі навушники марки «ВЦНІІОТ-2М»;

Протигаласливі вкладиші марки «Беруші».

Для захисту від вібрації застосовуються віброізоляційне взуття і рукавиці.

8.4.4 Засоби захисту від статичної електрики.

Статична електрика це електрзаряди, що виникають в результаті тертя діелектрика об діелектрик, або провідник і що зберігаються тривалий час на поверхні.

Джерелами статичної електрики можуть бути трубопроводи, що транспортують речовину, або рухомі частини механізмів і машин.

Небезпечний прояв статичної електрики—виникнення вогню, корозія матеріалів, псування змащувальних речовин.

До заходів боротьби із статичною електрикою відносяться:

Збільшення вологості повітря вище 75%;

Застосування іонізаторів повітря;

Антистатичні добавки;

Запобігання накопиченню зарядів на обладнанні (шляхом заземлення всіх металевих частин, на яких можуть з'явитися заряди).

Для відведення статичної електрики, яка накопичується на людині, передбачено забезпечення тих, що працюють струмопровідним взуттям. Забороняється носити одяг з синтетичних матеріалів, а так само кільця і металеві прикраси.

8.4.5 Заходи електробезпеки

До таких методів відносяться: забезпечення недоступності токоведущих частин, які знаходяться під напругою; електричний розділ мережі; усунення безпеки поразки після появи напруги на корпусах, кожухах і частинах електроустановки, яка досягається вживанням низьких напруг, використанням подвійної ізоляції, вимірюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням; використання спеціальних електрозахисних пристроїв — переносних приладів і пристроїв; організація безпечної експлуатації електроустановок і інше.

Для усунення переходу напруги на корпус і на нетоковедущі частини електричного і технологічного устаткування після закриття на них одну з фаз застосовують захисне заземлення або занулення.

8.4.6 Пожежебезпека

Для попередження виникнення пожежі на території цеху необхідно постійно утримувати її в чистоті очищати від сміття, відходів виробництва. Протипожежні розриви між будівлями, спорудами, з критими майданчиками для зберігання ма-

теріалів, устаткування не дозволяється захаращувати, використовувати для складування матеріалів, устаткування, стоянок на ділянках території, де можливе скопчення горючих газів або пари, проїзд автомашин і іншого транспорту не допускається. Куріння на території цеху забороняється, куріння в цеху дозволене тільки в спеціально відведених місцях.

Евакуаційні шляхи при виході повинні залишатися вільними і нічим не захаращуватися в разі виникнення пожежі забезпечити безпеку всіх людей під час евакуації в будівлях.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися по напрямленню виходу з будівлі.

Сходові марші і майданчики повинні мати справні обгороджування і поручні які не повинні зменшувати ширину сходових маршів і майданчиків згідно будівельним нормам.

Сходові клітки, внутрішні, відкриті і зовнішні сходи, коридори, проходи і ін. шляхи евакуації мають бути забезпечені евакуаційним освітленням, світильники евакуаційного освітлення повинні включатися з настанням темноти. Не допускається:

влаштовувати на шляхах евакуації пороги, виступи, турнікети.

захаращувати шляхи евакуації.

Також частою причиною виникнення пожежі є електроустаткування і електроустановки.

На проєктованому виробництві встановлені засоби пожежогасіння для ліквідації можливих загорянь:

- пожежні крани з рукавами і стовбурами;
- вогнегасники ОПШ-10;
- ящики з піском і азбестовим полотном.

Електродвигуни і освітлювальна арматура застосовуються у вибухобезпечному виконанні.

8.4.7 Техніка безпеки при ремонті і експлуатації технологічного устаткування

8.4.7.1 Ремонтно – монтажні роботи

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

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

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

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

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

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

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

Перед проведенням ремонтних робіт, механік або майстер цеху проводить виконавцям інструктаж про порядок ведення робіт, дотриманням правил проти-

пожежною і техніці безпеки, потім допускає до виконання ремонтних робіт по оформленому разом із застосуванням засобів захисту, вказаних в наряді.

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

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

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

8.4.7.2 Допуск на проведення робіт

Система допусків, дозволів і нарядів на проведення особливо небезпечних робіт є важливим заходом щодо забезпечення безпеки по проведенню ремонтних робіт.

Не можна починати ремонтні роботи без спеціального документа-допуску, в якому мають бути вказані: склад бригади, місце, час, і відповідальна особа за проведення робіт позначені заходи безпеки, які обов'язкові для проведення робіт, а так само факт перевірки цих заходів. Допуск необхідно погоджувати з іншими підрозділами виробництва (пожежною охороною, газорятівною службою) і затвердити з головним інженером підприємства.

8.4.7.3 Організація робочого місця

Кожне робоче місце при проведенні ремонтно-монтажних робіт повинне відповідати вимогам техніки безпеки: захищені зони робіт, вільні проходи і шляхи доставки деталей і інструментів, працівники мають бути забезпечені індивідуальними засобами захисту, тобто протигазами, що фільтрують, марки «М», для захисту голови від травм – кицьки марки «Праця» або «Дружба» з підшоломниками.

8.4.7.4 Проведення робіт на висоті

Роботи на висоті вище 1,5м повинні виконуватися із застосуванням приставних сходів, драбин, подмостей, лісів, що мають обгороджування або при обов'язковому застосуванні перевірених або випробуваних запобіжних поясів, якщо робіт проводиться з необгороджених поверхонь.

Роботи, які виконуються на висоті більш 5м від поверхні землі, перекриття або робочого настилу, безпосередньо з конструкції, устаткування, машин і механізмів при їх монтажі і ремонті мають проводитися із застосуванням запобіжного поясу (поясу верхолаза).

До роботи на висоті допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, ввідний і первинний інструктаж по техніці безпеки і перевірку знань інструкції згідно переліку обов'язкових інструкцій для даної професії.

Ліси, підмости, і інші пристосування для виконання будівельно – монтажних і ремонтних робіт на висоті мають бути інвентарними, виготовлятися по типових проектах і відповідати ГОСТ 12.2.003 – 74.

Навантаження на настили лісів, подмостей і вантажопідйомних майданчиків не повинні перевищувати встановлених проектом величин. Скупчення на настилах людей в одному місці не допускається.

При проведенні ремонтно – монтажних робіт робітник зобов'язаний бути одягнений в спецодяг, мати при собі сумку для інструментів і працювати з надітою на голову каскою.

При роботі на висоті більш 5м, що працює повинен користуватися ременем безпеки, а так само не допускається розміщення працівників на різних відмітках по одній вертикалі.

8.4.7.5 Проведення зварювальних і вогневих робіт

До вогневих робіт відносять виробничі операції, зв'язані із застосуванням відкритого вогню, нагріванням до температур, здатних викликати займання матеріалів.

На проведення вогневих робіт оформляється наряд-допуск, що передбачає розробку і подальше здійснення комплексу заходів щодо підготовки і безпечного проведення робіт, вказаний термін його дії, і тривалість проведення робіт, склад бригади, вимоги до робітників.

Кожна вогнева робота, що проводиться в плановому порядку, складається з двох етапів:

- підготовка об'єкту до проведення вогневої роботи
- безпосереднє проведення вогневої роботи.

Відповідальним за підготовку об'єкту до проведення вогневої роботи призначається інженерний – технічний працівник цеху (як правило, начальник зміни), у веденні якого знаходиться експлуатаційний персонал даного об'єкту.

Відповідальний за проведення вогневих робіт зобов'язаний:

- перевірити у виконавців наявність і справність засобів індивідуального захисту, інструменту і пристосувань, їх відповідність виконуваній роботі, наявність посвідчень і талонів – попереджень;
- проводити інструктаж виконавців про правила безпечного ведення робіт;
- забезпечити місце проведення робіт первинними засобами пожежогасінні.

Виконавці вогневих робіт несуть відповідальність за виконання всіх мерів безпеки, передбачених в наряді – допуску.

Якщо вогневі роботи проводяться усередині ємкості, то вони вимагають письмового дозволу головного інженера, узгодженого з органами пожежної охорони, наявність акту огляду ємкості і дотримання особливих мерів безпеки згідно спеціальної інструкції. До таких заходів відносять забезпечення максимального повітрообміну, якщо потрібно – примусового, обов'язкове заземлення ємкості, цілісність ізоляції токопроводов, наявність повного комплекту захисного одягу (діелектричні рукавички, калоші, шлемо або каска), неможливість зміни електродів при включеній напрузі.

Для проведення робіт усередині ємкостей повинна призначатися бригада в складі не менш 2-х чоловік (один працює, другий спостерігає). Газонебезпечні роботи усередині ємкостей проводяться при постійній присутності газорятівника.

Перебування усередині ємкостей дозволяється, як правило, одній людині. При необхідності перебування в ємкості більшого числа робітників мають бути розроблені, внесені до наряду-допуску і додатково здійснені заходи безпеки, що передбачають:

- призначення не менш одного спостерігача персонально на кожного працюючого в апараті;
- порядок входу і евакуації працюючих;
- порядок розміщення шлангів, забірних патрубків протигазів, сигнально-рятувальних вірвовок;
- наявність засобів зв'язку і сигналізації на місці проведення робіт.

У всіх випадках на працівника, що спускається в ємність, має бути надітий рятувальний пояс з сигнально-рятувальним мотузком. Пояс, карабін і сигнально-рятувальний мотузок мають бути випробувані в установленому порядку.

Підготовчі роботи.

Підготовка об'єкту до проведення вогневих робіт здійснюється експлуатаційним персоналом цеху під керівництвом відповідального за підготовку.

Апарати, машини, ємкості, трубопроводи і інше устаткування, на якому будуть проводитися вогневі роботи, мають бути зупинені, знеструмлені, звільнені від вибухонебезпечних, пожароопасних, токсичних і інших продуктів, відключені заглушкою від апаратів, що діють, комунікацій, продуті азотом, парою, повітрям і підготовлені до проведення вогневих робіт.

Електродвигуни рухомих механізмів мають бути відключені від джерел живлення видним розривом і від'єднані від цих механізмів. На пускових пристроях біля електроприводів і в електророзподільних пристроях вивішуються плакати «Не включати – працюють люди!», які знімаються після закінчення робіт.

Майданчики, металоконструкції проведення вогневих робіт, що знаходяться в зоні, мають бути очищені від вибухонебезпечних і пожароопасних продуктів (пил).

Зливні воронки і інші пристрої, пов'язані з каналізацією, в яких можуть бути горючі гази і пари, мають бути перекриті.

Для оцінки якості виконання підготовчих заходів необхідно провести аналіз повітряної середовища на вміст вибухонебезпечних речовин із записом результатів в рапорті начальника (майстри) зміни.

Проведення вогневих робіт

Вогневі роботи дозволяється проводити тільки після виконання всіх підготовчих робіт і заходів, передбачених нарядом-допуском.

Напередодні проведення вогневих робіт в пожежну частину направляється письмове сповіщення в якому указується найменування цеху, номер корпусу, місце і характер вогневих робіт.

Перед початком і періодично в процесі проведення робіт необхідно проводити аналізи стану повітряного середовища на місці робіт

В разі підвищення вмісту горючих речовин в небезпечній зоні, усередині апарату або трубопроводу вогневі роботи негайно припиняються. Ці роботи можуть бути відновлені тільки після виявлення і усунення причини загазованості і відновлення нормального повітряного середовища.

Під час проведення вогневих робіт технологічним персоналом цеху мають бути прийняті заходи, що виключають виділення в повітряне середовище вибухонебезпечних речовин.

8.4.7.6 Проведення випробувань

Агрегати і газові колектори, що працюють з паливних, вибухонебезпечною і токсичною середовищем, повинні піддаватися власником випробуванню на герметичність перед включенням їх в роботу після ремонтів і оглядів з розкриттям посудини або розбиранням трубопроводів.

Гідравлічні випробування проводяться з періодичністю, яку разом з величиною пробного тиску і порядком його підйому вказано в паспорті на ємкість.

Вимоги до техніки безпеки при випробуваннях:

Попередня підготовка апарату.

Попередній його огляд.

Температурні кордони випробувань від +5 до +40°C.

Плавний підйом тиску згідно рекомендаціям паспорта.

Для контролю тиску використовувати два манометри.

Підготовка агрегатів до пневмовипробування повинна проводитися в повній відповідності з вимогами інструкції, що визначає порядок здачі і приймання устаткування в ремонт і з ремонту, цехової інструкції по техніці безпеки і виробничих робочих інструкцій, що діють на підприємстві.

При випробуванні на герметичність агрегати мають бути заздалегідь від'єднані від решти апаратів і трубопроводів, що не вимагають перевірки, або так само вимагають перевірки на щільність, але при іншому випробувальному тиску. Відключення проводиться шляхом закриття запорної арматури і установки заглушок.

Агрегати, призначені для роботи з вибухопожеженобезпечним середовищем, допускається випробувати повітрям лише в тому випадку, якщо вони не були в роботі, або перед випробуванням були повністю очищені і лабораторним аналізом встановлена безпека середовища в посудинах і трубопроводах.

Агрегати працюють під вакуумом випробовуються на щільність тиском 1 кг/см².

Випробування можна проводити тільки після зовнішнього і внутрішнього огляду зварних швів.

Ємність необхідно ретельно підготувати, тобто очистити, промити, продути.

Випробування не можна проводити в умовах діючого виробництва.

Перед випробуванням потрібно встановити охоронну зону, і позначити її кордони прапорцями, за які заборонено входити під час випробувань.

Під'їм тиск необхідно проводити плавно, припиняючи його під час проміжних оглядів. Швидкість підвищення тиску, кількість зупинок і величини проміжного тиску встановлюються в технічній документації цеху, але не повинні перевищувати: при робочому тиску понад 5 кг/см².

При проведенні пневматичних випробувань обидва манометри повинні знаходитися за межами охоронної зони.

Категорично забороняється обстукування апарату, який знаходиться під тиском.

Виявлення місць витоків при проміжному і робочому тиску проводиться за допомогою галоїдного шукача або шляхом обмазки мильним розчином зварних швів, сальників, арматури і роз'ємних з'єднань.

При виявленні пропусків тиск має бути скинутий, після чого пропуски надійно усунені.

8.5 Експлуатація технологічного устаткування

Основною умовою безпечної експлуатації є дотримання обслуговуючим персоналом норм технологічного режиму, робочих інструкцій по охороні праці.

Перед пуском цех необхідно:

- перевірити стан фланцевих з'єднань і арматури;
- зняти всі заглушки, встановлені для ремонту з відповідним записом в журналі обліку зняття і установки заглушок;
- провести заповнення систем захолодженої води;
- включити в роботу всі стадії технологічного процесу відповідно до інструкцій по робочих місцях.

До експлуатації апарата повинен допускатися тільки кваліфікований обслуговуючий персонал, що здав іспит на право обслуговування даного встаткування. Експлуатацію апарата робити відповідно до робочої інструкції по експлуатації. Пуск апарата в роботу проводити по технологічному регламенту на ведення процесу. Під час роботи апарата повинен підтримуватися заданий технологічний режим, при цьому робочі параметри не повинні бути вище передбачених технічною характеристикою апарата. Для захисту апарата від перевищення тиску на лінії встановлений запобіжний клапан.

Апарат повинен бути зупинений у наступних аварійних випадках:

- 1) При підвищенні тиску або температури вище величини, зазначеної в технічній характеристиці апарата.
- 2) При несправності контрольно-вимірювальних приладів і автоматики.
- 3) При виявленні в основних елементах апарата тріщин, пропусків, випучин, розриву прокладок.
- 4) При виникненні пожежі, що безпосередньо загрожує апарату.

5) При неповній кількості або несправності кріпильних виробів фланцевих з'єднань.

При виявленні несправності в апараті необхідно:

- 1) Перекрити подачу робочої речовини.
- 2) Видалити середовище з апарата.
- 3) Зробити продувку й промивання апарата.
- 4) Усунути несправність.
- 5) При зупинці апарата скидання тиску робити плавно.

9 ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ

Одній з найбільш актуальних проблем, що хвилюють сьогодні людство, стала проблема охорони природи, раціональне використання природних багатств. Неухильне зростання надходження токсичних речовин в навколишнє середовище перш за все відбивається на здоров'ї населення, погіршує флору і фауну, тому завдання сучасної інженерії полягає у вирішенні цих проблем. У Україні охорона навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів завжди відносилася до найважливіших політичних, економічних і соціальних завдань. Особлива відповідальність в 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.

У створенні безвідходної технології визначилися наступні чотири принципи:

- 1) розробка і впровадження різних безстічних технологічних схем і водооборотних циклів на базі ефективних методів очищення;
- 2) розробка і впровадження принципово нових технологічних процесів, що виключають утворення будь-яких видів відходів;
- 3) створення територіально-промислових комплексів, тобто економічних районів, в яких реалізована замкнута система матеріальних потоків сировини і відходів усередині комплексу;
- 4) широке використання відходів як вторинні матеріальні і енергетичні ресурси.

9.1 Інженерна екологія і її завдання

Екологія – це наука про умови існування живих організмів і взаємозв'язки між ними і навколишнім середовищем. Завдання екології як науки:

- дослідження закономірності організації життя;

- створення наукової основи раціональної експлуатації біологічних ресурсів, прогнозування зміни природи під впливом життєдіяльності людини;
- регуляція чисельності популяції;
- розробка системи заходів щодо мінімального застосування хімічних засобів боротьби з шкідливими видами;
- відновлення порушених природних систем.

Інженерна екологія – теоретична база, що встановлюється обмеженнями на параметри виробництва, наука, яка вивчає вплив технологічних процесів конкретного виробництва на природне середовище і базується на повному і глибокому знанні технології виробництва.

Завдання інженерної екології:

- оптимізація технологічних, інженерних рішень, виходячи з мінімального збитку навколишньому середовищу і здоров'ю людини;
- прогнозування і оцінка можливих негативних наслідків, що діють, реконструюються, і проєктованих підприємств для навколишнього середовища і людини;
- своєчасне виявлення і коректування конкретного технологічного процесу, що завдає збитку навколишньому середовищу, загрозливого здоров'ю людини, негативний вплив на екологічну систему.

9.2 Характеристика відходів виробництва адипінової кислоти.

У таблицях наводиться характеристика газових викидів, стічних вод і допустимі норми шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу і водоймища.

У виробництві адипінової кислоти є 23 джерела газових викидів та 7 джерел технологічних стічних вод.

Загальна кількість газових викидів на рік становить близько 23750 кг, з них: пил адипінової кислоти, включаючи повітря, близько 75%. Газові викиди не перевищують допустимі норми викидів і складають приблизно 3380 кг/рік (у суміші з повітрям).

Кількість технологічних стічних вод складає за джерелами їх скидання від 0.33 м³/т продукту до 8.3 м³/т. По всіх джерелах викидів та стоків тривалість викиду прийнята на рівні 8000 год /рік (91.3% від календарного року).

Стічні води через ємності проходять вузол нейтралізації і далі на споруди біохімічистки (включаючи нітрит-денітрифікації).

Склад стоків:

- Вода;
- Адипінова кислота;
- Азотна кислота;
- Дикарбонові кислоти;
- Вода з домішками міді і ванадію.

Після очищення на очисних спорудах вода повертається в водооборотний цикл підприємства.

Технічні рішення, прийняті в основу біохімічистки, дозволяють вирішувати екологічні проблеми, не перевищуючи допустимих норм.

Відходом виробництва адипінової кислоти є плав дикарбонових кислот, ванадій, мідь.

Дикарбонові кислоти виділяються у вигляді сухої суміші дикарбонових кислот, упаковуються в тару і відправляються споживачам.

При відсутності споживачів плав розчиняється і направляється на споруду біохімічистки.

В цілому технічні рішення (апаратурне оформлення: реактори, центрифуги, кристалізатори, сушарки та ін.) і оптимальне ведення технологічного процесу (температура, тиск) забезпечують надійну і прийнятну схему охорони навколишнього середовища, прийнятну як з точки зору екології, так і економії енергетичних ресурсів.

9.3. Характеристика забруднюючих речовин, що поступають в атмосферу від цеху адипінової кислоти.

Адипінова кислота

Малотоксична. Викликає роздратування верхніх дихальних шляхів.

Азотна кислота

Токсична. Пари викликають роздратування дихальних шляхів, приводять до руйнування зубів і рогівки очей.

Аміак

Токсичний. Пари викликають роздратування дихальних шляхів.

При тривалому вдиханні приводить до набряку легенів.

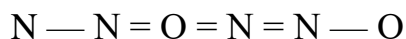
Суміш дикарбонових кислот

Малотоксична. Викликає роздратування верхніх дихальних шляхів.

Оксид азоту (I)

Хоча N_2O з природних джерел поступає в атмосферу, це з'єднання азоту зазвичай не розглядають як забрудник, оскільки воно нешкідливе. Оксидом азоту (I) є безбарвний газ злегка солодкуватого смаку і запаху. Вдихання повітря з невеликим змістом N_2O викликає напади веселості, із-за чого це з'єднання часто називають "звеселяючим газом".

Молекула його є лінійною і може бути описана двома резонансними структурами:



Оксид азоту (I) утворюється при розкладанні азотвмісних з'єднань в ґрунті анаеробними бактеріями. Його кількість, що виділяється, в глобальному масштабі оцінюють в $54 \cdot 10^7$ т/рік. Під дією світла з довжиною хвилі менше 2200 А N_2O диссоціює з утворенням азоту



а також може реагувати з атомом кисню, утворюючи оксид азоту (II):



Приведені вище реакції протікають в стратосфері і приводять до рівномірності концентрацій N_2O в тропосфері і до її зменшення над тропопаузою. У зв'язку з можливістю участі N_2O в стратосферних хімічних перетвореннях азоту і кисню вельми важливим представляється питання про те, в якому ступені все зростаюче застосування азотних добрив може привести до збільшення змісту N_2O в атмосфері.

Оксид азоту (II)

Оксидом азоту (II) є безбарвний газ без запаху, негорючий і слабо розчинний у воді. На повітрі NO окислюється до NO_2 , його концентрації і кількості, що поступають в атмосферу, зазвичай приводяться спільно з відповідними даними для NO_2 (як NO_x). Оксиди азоту NO і NO_2 сильно токсичні. Оксид азоту (II) поглинає світло з довжиною хвилі менше 2300 А. Ділина зв'язки N-O складає 1,14 А, а енергія зв'язку рівна 628 кДж/моль. Молекула NO може бути іонізована з утворенням іона NO^+ ; потенціал іонізації відносно низький і рівний 9,5 еВ.

У навколишнє середовище NO поступає у вигляді продукту життєдіяльності бактерій і в результаті процесів згорання, що відбуваються в природі. Спільна кількість NO з природних джерел в глобальному масштабі оцінюється в 450 млн. т/рік а спільна кількість NO_x з антропогенних джерел - в 48 млн. т/рік.

Діоксид азоту

Діоксидом азоту є червонувато-оранжувато-коричневий газ з гострим їдким запахом. Газоподібний NO₂ токсичний і є сильний корозивноактивний агент. Молекула NO₂ поглинає світло в більшій частці видимої області спектру. Внаслідок цього в атмосфері NO₂ здатний утворювати жовтуватий або оранжевий серпанок.

9.4 Заходи направлені на зменшення дії на оточуюче середовище

Газові викиди і промислові стічні води, що утворюються при виробництві адипінової кислоти, містять шкідливі речовини, що роблять негативний вплив на оточуюче середовище.

З метою зменшення їх дії на природу і зниження концентрацій до рівня допустимих значень:

1. На стадії сушки адипінової кислоти встановлені газопилоловлюючі установки (ГПУУ) – ротоклон, рукавні фільтри, що очищають повітря, що відходить від технологічних апаратів, від пилу адипінової кислоти.

2. Технологическое устаткування, в якому збираються і переробляються розчини, що містять азотну кислоту і колектор нітрозних газів знаходяться під невеликим розрідженням, що виключає можливість попадання шкідливих речовин в атмосферу.

Газ, що містить оксиди азоту компримується і після абсорбції оксидів азоту глибокознесоленою водою (в колоні абсорбції), відправляється по трубопроводу на термічне знешкодження в цех амінів.

3. У разі виникнення аварійних ситуацій і зупинок устаткування передбачена схема дренажу розчинів азотної кислоти з технологічного устаткування в аварійну ємність.

10 ВИВОДИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

На підставі аналітичного огляду вибрано найбільш ефективне виробництво адіпінової кислоти методом окислення циклогексанолу азотною кислотою.

Розроблена колона для проведення процесу десорбції оксидів азоту з реакційного розчину. Конструкція і розрахунки апарату виконані відповідно до нормативно-технічної документації, що діє в хімічному машинобудуванні.

У зв'язку з тим, що усередині апарату знаходиться агресивне середовище, вибрана корозійностійка сталь 10X17H13M2T для корпусу апарату і внутрішніх устроїв.

11 ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. А.И. Зицер. Производство циклогексанона и адипиновой кислоты окислением циклогексана. - М.: Химия, 1967. – 240 с.
2. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. - М.: Химия, 1978.-277 с.
3. Рамм В.М Абсорбция газов.- Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Химия», 1976.
4. К.Ф. Павлов, П.Г Романков, А.А. Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Издательство «Химия», Ленинградское отделение 1969г. 624 стр.
5. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Лащинский А.А., Толчинский А.Р., Л., «Машиностроение», 1970г., 752 стр.
6. Берлинер Ю.И., Балашов Ю.А. Технология химического и нефтяного аппаратостроения. - М.: Машиностроение, 1976. - 255 с.
7. Гальперин М.И., Артемьев В.И., Местечкин Л.М. Монтаж технологического оборудования нефтеперерабатывающих заводов. -М.: Стройиздат, 1982. - 351 с.
8. Гальперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии.-М.: Химия, 1981. - 812 с.
9. Никифоров А.Д., Беленький В.А., Поплавский Ю.В. Типовые технологические процессы изготовления аппаратов химических производств. - М.: Машиностроение. 1979. - 277 с.
10. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др.; под ред. Ю.И Дытнерского. — М.; Химия. 1983, - 272 с.
- 11.Рахмилевич З.З., Радзин И.М., Фарамазов С.А.: Справочник механика химических и нефтехимических производств. - М.: Химия, 1985. -592с.
- 12.Тютюнников А.Б. и др. Основы расчета и конструирования массообмен-

- ных колонн. Киев: Выща школа, 1983. - 223 с.
13. Фарамазов С.А. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация. - М.: Химия. 1984. - 328 с.
 14. Фарамазов С.А. Ремонт и монтаж оборудования химических и нефтеперерабатывающих заводов. - М.: Химия, 1988. - 304 с.
 15. Методические указания по монтажу аппаратов колонного типа для студентов специальности 7.090220./ Сост. А.И. Барвин, И.М. Генкина, В.В. Иванченко. В.Г. Табунщиков. Ю.Н. Штонда.
 16. Методические указания к расчету на прочность и устойчивость колонных аппаратов для студентов специальности 7.090220. / Сост. В.В.Иванченко и др. - Северодонецк: СТИ, 1996. - 28 с.
 17. Методические указания к расчету 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.
 18. Расчет выпуклых и плоских днищ и крышек, конических обечаек, днищ и переходов стальных сварных сосудов и аппаратов. Методика и примеры расчета. / Сост. А.И. Барвин, И.М. Генкина, В.В. Иванченко, Д.А. Куликов, В.Г. Табунщиков, Г.В. Тараненко, Ю.Н. Штонда. - Северодонецк: СТИ, 2003. - 122 с.
 19. Методические указания к расчету тепловой изоляции трубопроводов и оборудования для студентов специальности 7.090220./Сост. Ю.Н. Штонда и др. - Северодонецк: СТИ. 2002. - 40 с.
 20. Методические указания к расчету на прочность технологических стальных трубопроводов на P_u до 10 МПа для студентов специальности 7.090220./Сост. Ю.Н. Штонда и др. - Северодонецк: СТИ. 2002. - 35с.
 21. Методические указания к выполнению курсовой работы на тему «Расчет ректификационной установки непрерывного действия» для студентов специальностей 7.091601; 7.091602; 7.090220/ Составители Ильиных А.А., Носач В.А, Резанцев И.Р.

22. Колонные аппараты: Каталог.- М.:ЦИНТИхимнефтемаш, 1986.- 112 с.