

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему:

«Розробка реактора із псевдозрідженим шаром по результатах дослідження на лабораторній установці»

Листів-69, ілюстрацій-6, таблиць-1, посилань-12.

ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, РЕАКТОР, КИПЛЯЧИЙ ШАР, ЕКСПЕРИМЕНТИ, ТЕХНОЛОГІЧНА УСТАНОВКА, ДИСПЕРСІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ.

Об'єкт дослідження – експериментальна установка з псевдозрідженим шаром.

Мета роботи – експериментальне на дослідній установці та розрахункове визначення основних параметрів нової технологічної схеми з розробкою реактора.

Методи дослідження – експериментальні та розрахункові.

У результаті роботи було виконано:

- ✓ ознайомлення зі способами псевдозрідження сипких матеріалів;
- ✓ розробка плану проведення експерименту;
- ✓ проведення експерименту;
- ✓ обробка результатів експерименту;
- ✓ на основі критеріальних рівнянь визначення основних параметрів пілотної установки;
- ✓ розробка частини загальної технологічної схеми, а саме, схеми підключення та параметрів реактора;
- ✓ розрахунок основного апарату схеми – реактора.

Зміст

Передмова	4
1. Аналітичний огляд	5
1.1. Псевдозрідження	5
1.2. Технологія псевдозрідженого шару	7
3. Методи збірки	17
4. Ремонт	21
4.1. Класифікація видів ремонту	21
4.2. Зміст перерахованих вище видів ремонту	22
5. Розробка технологічної схеми у частині реакційного блоку	26
5.1. Процес глибокого окиснення органічних відходів	26
6. Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів реактора	29
6.1. Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість	29
6.2. Розрахунок нижнього еліптичного днища	32
6.3. Розрахунок конічного переходу	33
6.4. Розрахунок верхнього еліптичного днища	37
6.5. Розрахунок фланцевого з'єднання апарату	38
6.6. Розрахунок опорних вузлів та стропових пристроїв	59
6.7. Конструкція і загальний вид пілотної моделі апарату	60
7. Техніка безпеки та охорона праці на виробництві	63
Висновки	68
Перелік джерел посилання	69

Передмова

Сучасні хімічні заводи являють собою комплекс складних технологічних ліній та установок, призначених для виробництва великої кількості потрібних для економіки продуктів. Ці технологічні лінії та установки містять різноманітні за конструкцією та призначенням машини, посудини, апарати, трубопроводи та трубопровідну арматуру, які узагальнено терміном обладнання. Обладнання, що використовують для проведення цільового технологічного процесу, називають технологічним або основним, на відміну від типового обладнання, що застосовують у багатьох галузях промисловості. Машини, посудини та апарати хімічних виробництв зазвичай експлуатують в умовах високих або низьких температур, високого надлишкового тиску або глибокого вакууму, дії корозійних середовищ, інтенсивного зношування. Зазначені особливості експлуатації потребують використовувати для виготовлення цього обладнання як металеві, так і неметалеві конструкційні матеріали. Не менш різноманітні й технологічні процеси виготовлення хімічного обладнання. Вони охоплюють майже всі види оброблення матеріалів: лиття, кування, штампування, оброблення різанням і тиском, зварювання, паяння, склеювання, хімічне, термічне, хіміко-термічне, фізико-хімічне та інші види оброблення.

1 Аналітичний огляд

1.1. Псевдозрідження

Псевдозрідження - це процес, при якому по суті тверда статична маса перекладається в псевдостан, подібне станом рідкої маси. На відміну від скраплення в псевдорідину стан перекладається не газ, а сипуча (при певних обставинах) маса.

Як правило цей процес відбувається, коли рідина (крапельна рідина або газ) рухається вгору через зернистий матеріал. Даний процес псевдозрідження заснований на дії (протидії) сил: аеродинамічного лобового опору і гравітаційних сил.

Так само створення псевдозрідженого шару можливо в результаті дії (протидії) сил: аеродинамічного лобового опору і відцентрових сил.

Коли потік газу вводиться через дно суміші зернистого матеріалу з рідиною або газом, цей потік буде рухатися вгору через порожнечі між зернами матеріалу. При низьких швидкостях газу, сили аеродинамічного лобового опору кожного із зерен, що діють з боку потоку газу, також невеликі, і тому шар залишається в зв'язаному стані. При збільшенні швидкості потоку газу сили аеродинамічного лобового опору, що діють на зерна, зростають і починають протидіяти силам гравітації, що примушує шар до збільшення його обсягу. Останнє обумовлено тим, що тверді зерна прагнуть рухатися один від одного. Подальше збільшення швидкості потоку призводить до того, що обсяг досягає деякого критичного значення, при якому піднімають зерна вгору сили аеродинамічного лобового опору стають рівними гравітаційним силам, що тягне зерна вниз. Це призводить зерна до того, що вони «висять» в потоці газу або рідини. При критичному обсязі шар має властивості рідини. При подальшому збільшенні швидкості потоку газу, «єдина щільність» («середня щільність») шару буде продовжувати зменшуватися, і процес псевдооживлення ставатиме більш інтенсивним доти,

поки зерна не перестануть утворювати єдиний шар і частки не почнуть підніматися вгору, що захоплюються потоком газу[1] .

Псевдозрідженим шар поводитья подібно рідини або газу. Подібно воді у відрі шар буде приймати форму займаної ємності, його поверхня залишається перпендикулярній гравітаційним силам; зерна з щільністю, меншою ніж «єдина щільність» шару будуть підніматися на поверхню, в той час як об'єкти з щільністю вищою ніж «єдина щільність» шару опускаються на дно. Ці властивості дозволяють транспортувати масу з твердих зерен по трубах як рідини, не вдаючись до допомоги механічного транспорту (зокрема, стрічкових конвеєрів). Властивості псевдозріджених маси зерен використовуються також в системах вивантаження розчину цементу в автоцементовозах.

В якості найбільш простого повсякденного приклад застосування псевдозрідження можна привести апарат для приготування попкорну. Зерна попкорну, стандартизовані і майже однакові за масою і формою, зависають у потоці гарячого повітря, що піднімається з дна камери. Інтенсивне перемішування частинок попкорну, подібно перемішування киплячій рідини, дозволяє вирівняти температуру по всьому об'єму камери, мінімізуючи кількість підгоріли зерен. Після «вибуху», тепер уже збільшені зерна під дією сил аеродинамічного лобового опору піднімаються наверх, і виштовхуються в зовнішню ємність, в той час як «не вибухнула» зерна рухаються на дно камери.

Процес псевдооживлення використовується для збагачення корисних копалин в киплячому шарі.

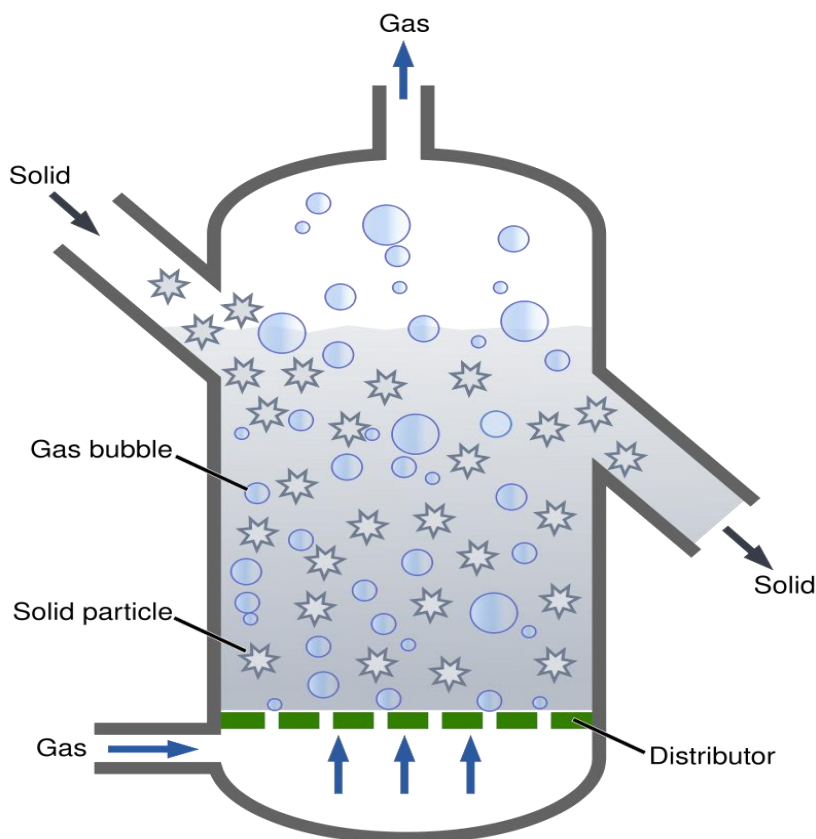


Рисунок 1 – Хімічний реактор для гетерогенних систем з псевдорозрідженим шаром [3]

1.2. Технологія псевдорозрідженого шару.

У псевдооживленому шарі система частинок утримується в підвішеному стані, завдяки потоку, спрямованого проти сили тяжіння. При цьому кожен окрему частинку огинає потік повітря. Що виникає внаслідок цього велика контактна поверхня між часткою і повітрям забезпечує оптимальну передачу тепла і матеріалу і в той же час швидку, щадну і енерго-зберігаючу сушку. Повітряний прошарок між частинками запобігає стиранню і агломерації. Віб्राція сушарки підтримує псевдорозріджений шар і надає саме позитивний вплив на процес, дозволяючи уникнути утворення воронки і прориву повітря, в дуже вологих і важко піддаються псевдорозріджених шарах матеріалу. Частинок з різним розміром зерна просушують рівномірно і надійно.

Додатково вібраційна сушарка повністю і автоматично спорожняється. Витрати на технічне обслуговування та очищення при експлуатації мінімальні. Сушка щадна і ефективна сушка:

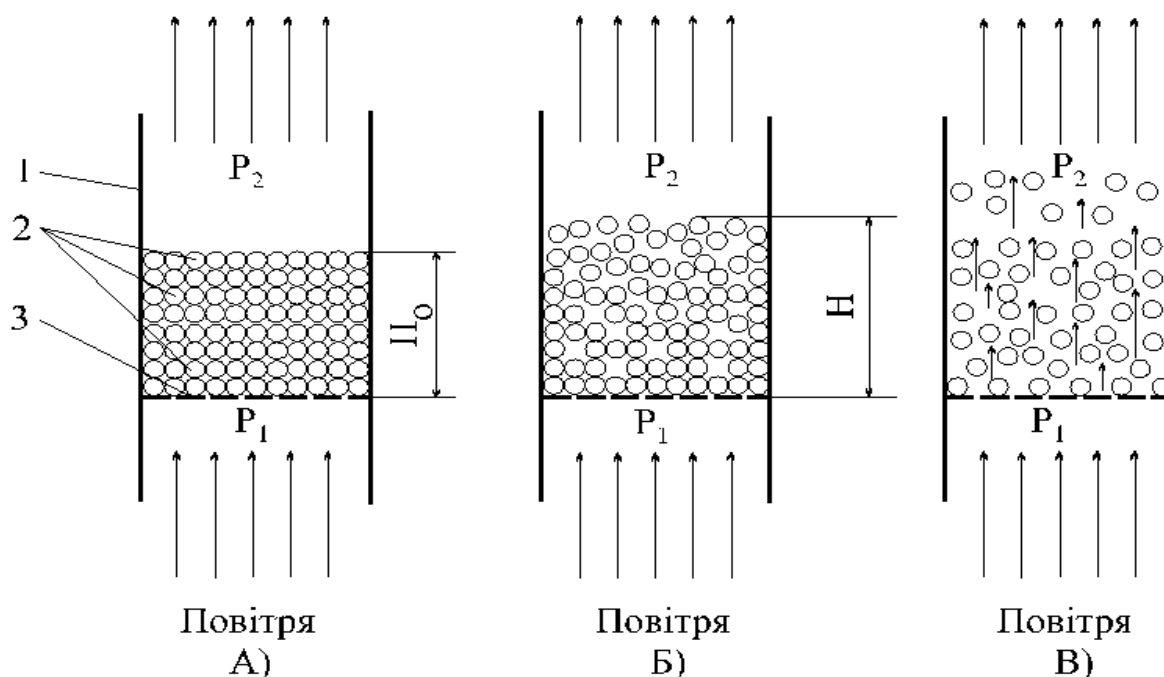
- зернистих і кристалічних матеріалів
- клейких і схильних до агломерації матеріалів
- чутливих до температури матеріалів
- порошоків дрібної фракції
- м'яких фільтраційних кеков і паст
- суспензій і розчинів

охолодження:

- ефективне охолодження просушених матеріалів
- комбіновані апарати для сушіння і охолодження.

Тепло та масообмінні процеси, які протікають при наявності твердих дисперсних матеріалів можна інтенсифікувати, якщо проводити їх у стані псевдозрідження. Крім цього, використання ефекту псевдозрідження дозволяє організувати неперервні процеси, оскільки система газ-твердий дисперсний матеріал у стані псевдозрідження стає текучою, як рідина (власне тому відповідне явище називається псевдозрідженням).

Для псевдозрідження зернистих матеріалів використовуються пристрої, (рис. 2), головними елементами яких є ємність 1, розділена на дві частини горизонтальною перфорованою перегородкою 2, на якій розміщений шар зернистого матеріалу 3, а знизу подають газ (або рідину).



а) стаціонарний шар б) псевдозрідження в) винесення (пневмотранспорт)

Рисунок 2 – Схематичне зображення стану шару дисперсного матеріалу при русі крізь нього висхідного потоку газу

На рис. 2, зображені три можливих стани шару твердих частинок, які мають місце при різних швидкостях руху газу або рідини, що подаються знизу вгору (стаціонарний шар, псевдозрідження і пневмотранспорт)[4].

Стаціонарний шар. Коли швидкості руху газу (рідини) крізь шар є незначними (рис. 2а), то шар залишається нерухомим і його характеристики (висота, питома поверхня, пористість, еквівалентний діаметр каналів в зернистому шарі) залишаються незмінними.

Швидкість газового потоку, віднесена до всього поперечного перерізу апарату називається фіктивною швидкістю газу і позначається ω_0 .

$$\omega_0 = \frac{V}{S} \quad (1)$$

де V – об’ємна витрата газу, $\text{м}^3/\text{с}$; S – площа поперечного перерізу шару, м^2 .

Дійсна швидкість газового потоку крізь шар твердих частинок ω зв’язана з фіктивною співвідношенням:

$$\omega = \frac{\omega_0}{\varepsilon_0} \quad (2)$$

де ε_0 – пористість нерухомого шару (пористість це частка порожнин в шарі зернистого матеріалу, яку вимірюють у $\text{м}^3/\text{м}^3$). Залежність (2) справедлива і для псевдозрідженого шару, але у цьому випадку в неї вводиться пористість останнього – ε ..

Збільшення фіктивної швидкості ω_0 приводить до відповідної зміни дійсної швидкості руху теплоносія ω , що, згідно з рівнянням Дарсі–Вейсбаха, стає наслідком збільшення перепаду тисків:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{H}{d_e} \cdot \frac{\rho_c \cdot \omega^2}{2} \quad (3)$$

де λ – загальний коефіцієнт опору, який лише формально відповідає коефіцієнтові тертя, що входить в залежність для розрахунку гідравлічного опору трубопроводу під час руху по ньому рідини чи газу. Загальний коефіцієнт опору λ відображає вплив опору тертя та місцевих опорів, що виникають під час руху рідини по кривизні каналів шару матеріалу та обтіканні нею окремих елементів шару.

H – висота шару, м; ρ_c – густина газу, $\text{кг}/\text{м}^3$; d_e – еквівалентний діаметр каналів в зернистому матеріалі, крізь які рухається газовий потік, м:

$$d_e = \frac{4 \cdot \varepsilon}{a} \quad (4)$$

a – питома поверхня шару зернистого матеріалу, $\text{м}^2/\text{м}^3$.

Еквівалентний діаметр може бути вираженим також через діаметр частинок, з яких складається шар:

$$d_e = \frac{2 \cdot \Phi \cdot \varepsilon \cdot d}{3 \cdot (1 - \varepsilon)} \quad (5)$$

d – діаметр частинок матеріалу, м; Φ – фактор форми. Для круглих частинок $\Phi=1$.

Киплячий шар. Коли швидкість руху газу (або рідини) досягає деякого критичного значення, шар матеріалу перестає бути нерухомим, його пористість і висота починають зростати, шар набуває текучості і переходить у киплячий (псевдозріджений) стан. Тверді частинки інтенсивно переміщуються в потоці в різних напрямках - весь шар нагадує киплячу рідину. Швидкість, при якій порушується стаціонарність шару і він починає переходити в псевдозріджений стан, називають першою критичною швидкістю або *швидкістю псевдозрідження*. Початком псевдозрідження вважається момент, коли сили гідравлічного опору шару зрівноважуються з вагою усіх частин останнього.

Вираз для розрахунку робочого (експериментального) значення пористості шару при зміні його висоти:

$$\epsilon = 1 - \frac{H_0}{H} \cdot (1 - \epsilon_0) \quad (6)$$

(Значення пористості нерухомого шару кулястих частинок $\epsilon_0=0,43$)

Межі існування псевдозрідженого шару є обмеженими знизу швидкістю псевдозрідження і зверху – другою критичною швидкістю. Коли відбувається зростання швидкості газу в межах $\omega_{пз} \div \omega_{крит.2}$, псевдозріджений шар зернистого матеріалу поступово розширюється, його висота збільшується, і як показують експериментальні дослідження, втрати напору при цьому залишаються практично постійними.

Апарати з киплячим шаром використовують в промисловості для змішування сипких матеріалів, для проведення процесів теплообміну, сушіння, адсорбції, капсулювання, каталітичних та інших процесів

Витання – стан в системі, коли пористість шару стає настільки великою (наближується до 1), що рух кожної окремої частини можна вважати незалежним від дії інших частин шару. Тому, *швидкість витання* – це швидкість, при досягненні якої кожна окрема частинка вільно витає, не осідає і не виноситься потоком з апарату при умові що її вага в середовищі зрівноважується силою гідравлічного опору, що виникає під час її обтікання

потокотом рідини чи газу. Найменше перевищення фіктивної швидкості ω_0 над величиною швидкості витання $\omega_{\text{вит}}$ спричиняє винесення частинки.

Транспортування. Швидкість руху газової фази, при досягненні якої відбувається руйнування шару і починається масове винесення частин рухомим потоком газу, називають другою критичною швидкістю. Явище масового винесення твердих частинок потоком газу називають пневмотранспортом і використовують в промисловості для переміщення сипких матеріалів.

Характерний графік зміни перепаду тисків (гідравлічного опору) від фіктивної швидкості руху газу крізь шар дисперсного матеріалу показаний на малюнку 3. Під час збільшення фіктивної швидкості газу аж до швидкості псевдозрідження, опір зернистого шару зростає (лінія ABC). Однак, перепад тисків в шарі безпосередньо перед початком псевдозрідження (точка B), є дещо більшим тієї величини, яка є необхідною для підтримання шару у зваженому стані. Це пояснюється дією сил щеплення між частинками шару.

Коли швидкість руху газу досягає швидкості псевдозрідження (точка C), частинки долають сили щеплення і перепад тисків стає рівним вазі частинок, яка припадає на одиницю площі апарату. Ця умова виконується для всієї області існування псевдозрідженого шару (лінія CE), аж до моменту, коли швидкість досягає другого критичного значення, при якому шар руйнується і починається масове винесення частин рухомим потоком газу, після чого перепад тисків починає спадати (ділянка RS)[3].

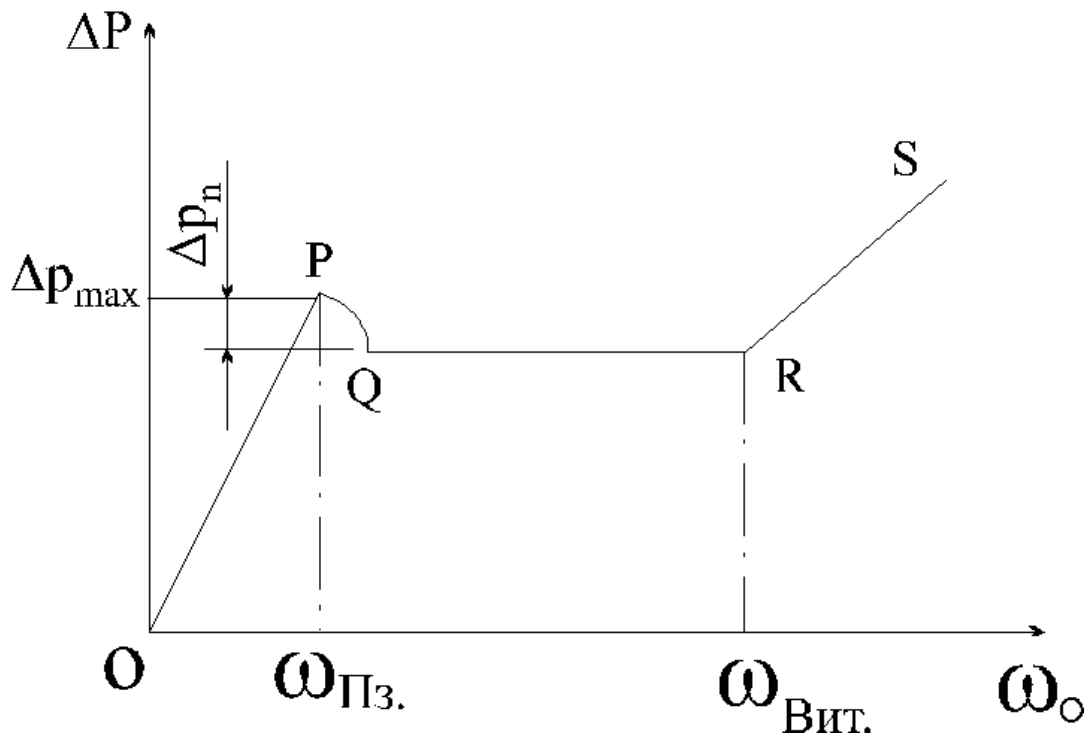


Рисунок 3 – Схематичний графік залежності перепаду тисків ΔP в псевдозрідженому шарі від фіктивної швидкості газу ω_0

Першу критичну швидкість, швидкість псевдозрідження $\omega_{пз}$, можна розрахувати визначивши критерій Архімеда Ar та значення критерія Рейнольдса у момент псевдозрідження згідно залежностей:

$$Ar = \frac{d^3 \cdot \rho_c \cdot (\rho - \rho_c)}{\mu_c^2} \quad (7)$$

d – діаметр частинки, м; ρ і ρ_c – густина, відповідно, частинок і середовища, кг/м^3 ; μ_c – динамічна в'язкість середовища, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Для проведення розрахунків в даній роботі:

$$d = 3 \text{ мм}; \rho = 7800 \text{ кг/м}^3; \rho_c = 1,2 \text{ кг/м}^3; \mu_c = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Критичне значення критерію Рейнольдса при якому починається псевдозрідження:

$$Re_{пз} = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot Ar^{0,5}} \quad (8)$$

Тоді, швидкість псевдозрідження $\omega_{пз}$, м/с, розраховують:

$$\omega_{пз} = \frac{Re_{пз} \cdot \mu_c}{d \cdot \rho_c} \quad (9)$$

В апаратах і реакторах, які працюють з псевдозрідженим шаром дисперсного матеріалу, значення робочої швидкості газу (рідини) вибирається з діапазону між першою і другою критичними швидкостями. Якщо технологічний процес (масообміну, каталізу тощо) лімітується процесами, які протікають в самих частинках, (це буває тоді, коли частинки пористі) то швидкість газу приймають близькою до першої критичної швидкості (процес масообміну не завжди доцільно проводити в цій області), у іншому випадку близькою до другої критичної швидкості.

Відношення робочої швидкості газу ω_0 до швидкості початку псевдозрідження називається числом псевдозрідження $K_{пз}$:

$$K_{пз} = \frac{\omega_0}{\omega_{пз}} \quad (10)$$

Число псевдозрідження характеризує інтенсивність перемішування частин і стан псевдозрідженого шару.

Для визначення значення критерію Рейнольдса $Re_{крит.2}$ у момент початку транспортування частин користуються виразом:

$$Re_{крит.2} = \frac{Ar}{18 + 0,575 \cdot Ar^{0,5}} \quad (11)$$

Значення другої критичної швидкості $\omega_{крит.2}$, при досягненні якої починається винесення матеріалу з апарату розраховують:

$$\omega_{крит.2} = \frac{Re_{крит.2} \cdot \mu_c}{d \cdot \rho_c} \quad (12)$$

2 Методи виготовлення апаратів під тиском

Апарати високого тиску зазвичай відрізняються від апаратів низького тиску пристроєм корпусів і кришок, що витримують тиск, і більш компактним пристроєм внутрішніх частин (насадок). Пристрій насадок дуже різноманітний, але всі вони зазвичай працюють при порівняно низьких перепадах тиску. Техніка виготовлення корпусів значною мірою залежить від величини апарату і від тиску, при якому він повинен працювати. Виготовляються вони різними способами, починаючи від товстостінних суцільнокованих і закінчуючи тонкостінними, обмотаним сталеву стрічкою.

До апаратів високого тиску відносить апаратуру, що працює під тиском понад 10 МПа. Ці апарати застосовують в виробництвах синтетичного аміаку, сечовини, метанолу, поліетилену, вищих спиртів, в деяких процесах гідрування і ін. Найбільш поширені в даних виробництвах робочі тиску порядку 30-60 МПа. Проектування і виготовлення апаратів високого тиску справа дуже відповідальна, тому що вони працюють з отруйними або вибухонебезпечними речовинами і поряд з небезпекою, яку представляє собою високий тиск, з'являються труднощі роботи з отруйними та вибухонебезпечними продуктами. Високий тиск зумовлює форму апаратів апарати виготовляють малих діаметрів, щоб зменшити товщину стінки і периметр ущільнення, технологічний обсяг[7].

2.1 Методи виготовлення

До методів виготовлення посудини високого тиску належать суцільні (суцільноковані, кованозварні і штампозварні) і складені (багатошарові, кручені і рулонні).

Суцільні:

- суцільноковані;
- кованозварні;

- штампозварні.

Складені:

- багат шарові;
- кручені;
- рулонні.

Технологія виготовлення:

- злиток попередньо обжимається
- видаляється центральна частина
- кування на оправці
- обробляються на токарних верстатах кінцеві ділянки

Недоліки: необхідність застосування важкого обладнання, велика кількість відходів (наприклад, для колони вагою 70 т вага заготовки 150..170 т)[6].

3 Методи збірки

У хімічній, нафтогазопереробної і нафтохімічної галузях промисловості технічні вимоги до судин і апаратів умовно розділені на дві групи: судини і апарати зварні з вуглецевих, легованих і двошарових сталей, що працюють під вакуумом, без тиску або під наливом і під надлишковим тиском до 10 МПа; судини і апарати ковані і кованосварні високого тиску (від 10 до 100 МПа). Такий поділ конструкцій пов'язано з особливостями технології виготовлення корпусів судин і апаратів. При виготовленні корпусу з листової сталі шляхом вальцювання і зварювання обичайок або штампування елементів (днищ, полуобечак) і їх зварювання основним обмеженням є максимальна стандартна товщина листа: листовий прокат зазвичай має товщину до 50-60 мм для товстолистовий корозійностійкої, жаростійкої та жароміцної сталей і двошарової корозійностійкої сталі і до 160 мм для листової гарячекатаної сталі.

Залежно від призначення і особливостей виготовлення використовують судини високого тиску (СВТ) з монолітною стіною (ковані, кованосварні, штампозварні) і багатошарові (з концентрично розташованими шарами, рулонірованні, спіральні-рулонні, кручені), при цьому необхідна товщина стінки судини може бути до 0,3 м. Ковані СВТ мають монолітний корпус, виготовлений з однієї поковки. Це визначає невеликі розміри СВТ: внутрішній діаметр не більше 0,6-0,8 м і довжина до 6 м. Їх застосовують найчастіше при тиску вище 32 МПа і високій температурі в малотоннажних виробництвах. Перевагою таких СВТ є відсутність зварних швів, які потребують періодичного дефектоскопічного контролю і знижують надійність СВТ. Основний недолік кованого СВТ - низький коефіцієнт використання металу поковки, ставлення маси готового виробу до маси поковки (висока металоємність виготовлення). Кованосварні СВТ мають корпус з декількох механічно оброблених кованих частин, з'єднаних між собою кільцевими зварними швами. Внутрішній діаметр такого СВТ частіше

0,6-0,8 м і рідше до 1,4-1,6 м. Кованосварні елементи (кришки, днища, горловини, фланці) складних апаратів високого тиску (АВТ) виготовляють діаметром до 2,4 м.

Штампованозварні і вальцваносварні СВТ складаються з декількох штампованих або вальцьованих обичайок або полуобечак, з'єднаних поздовжніми і кільцевими зварними швами. Такі СВТ більш економічні у порівнянні з кованими і кованосварними, їх можна виготовляти діаметром до 5 м. Оскільки вальцевание або штампування товстостінних елементів (при відношенні товщини стінки листа до діаметру обичайки більше ОД) утруднені, такі судини застосовують, в основному, при тиску не більше 20 МПа. Істотний недолік, що знижує надійність судин, - наявність поздовжніх зварних швів.

Багатошарові СВТ з концентрично розташованими шарами виконують з декількох обичайок, що складаються з відносно великого числа шарів. Обичайки зварені між собою і з кінцевими елементами (днища, фланці, горловини) корпусу кільцевими швами. Кінцеві елементи виготовляються з поковок або штамповок. Диффундируючі через стінку центральної внутрішньої обичайки гази видаляються через дренажні (контрольні) отвори, просвердлені в багатошаровій стінки до центральної обичайки. Переваги цих СВТ - можливість виготовлення великих апаратів, низькі металоємність і вартість, а основним недоліком є висока трудомісткість виготовлення, велика кількість зварних швів, в тому числі особливо небажаних поздовжніх швів. Виробництво СВТ такої конструкції налагоджено в ряді провідних країн світу; можливості вітчизняного машинобудівного обладнання для виготовлення обичайок багатошарових СВТ практично не обмежені.

Найбільш прогресивна конструкція рулонірованого СВТ була освоєна в СРСР, при цьому корпус має одну або кілька багатошарових рулонних обичайок, зварених між собою і з кінцевими елементами корпусу кільцевими швами. Кінцеві елементи виготовляють із поковок або штамповок. На центральну внутрішню обечайку намотується рулонний листовий смуга по

спіралі Архімеда до необхідної товщини стінки корпусу. Один кінець смуги приварюється до центральної обечайки, а інший кінець - до останнього зовнішнього шару корпусу. Обечайку намотують на валковий машині спеціалізованої лінії складання рулонірованих обечайок. Такі СВТ мають в 1,6 рази меншу трудомісткість виготовлення, в 2 рази меншу собівартість в порівнянні з кованосварними СВТ.

Саме створення рулонірованих СВТ дозволило в короткі терміни організувати в СРСР виготовлення великогабаритних АВТ для агрегатів синтезу аміаку одиничної потужності 1360 т / добу. Наприклад, АВТ для синтезу аміаку при тиску 32 МПа має внутрішній діаметр 2,4 м, висоту 32 м, товщину стінки корпусу 0,25 м і масу 550 т. Реактори гідрокрекінгу і гідроочищення важких нафтових фракцій можуть мати діаметр 2-5 м, висоту від 10-24 до 40 м, товщину стінки корпусу 0,12-0,25 м і масу до 800 т і більше (маса найбільшого реактора гідрокрекінгу тисячі чотиреста тридцять вісім т, він був спроектований, виготовлений і поставлений японською фірмою «Kobe Steel» на НПЗ в штаті Техас, США, в 2000 р).

Спіраль-рулонний СВТ - посудину, на внутрішню циліндричну обечайку якого навивається по спіралі з кутом до осі судини одна або кілька листових смуг. Кожен наступний шар навивається в протилежну сторону по відношенню до попереднього шару, всі кромки смуг зварюються між собою, сортамент і марки матеріалу ті ж, що і для рулонірованого СВТ. Одним з варіантів багат шарової конструкції є кручений СВТ, на внутрішню центральну обечайку якого навивається вузька сталева високоміцна калибрована профільна стрічка. Корпус збирають на спеціальному механізованому навивальні стенді, для збільшення щільності намотування профільну стрічку нагрівають, осьові сили передаються за рахунок зчеплення шарів по виступах стрічок.

СВТ можна використовувати в якості пустотілих балонів, резервуарів, ємностей, сепараторів та ін. А також в якості корпусу для апаратів високого тиску, всередині яких розташовані реакційні, теплообмінні та інші пристрої.

При використанні однакових марок сталей міцність багат шарових СВТ трохи вище міцності монолітного СВТ внаслідок застосування тонкого листа з більш високими механічними властивостями. До кінцевим елементів відносяться фланці, днища, горловини, кришки плоскі і опуклі, якими закінчується циліндрична частина корпусу посудини. АВТ має затвор - сукупність конструкційних елементів, призначених для відкривання і закривання посудини і забезпечують герметичність місця стику за допомогою ущільнюючих елементів (кілець і прокладок), шпильок і гайок.

Проектні та перевірочні розрахунки СВТ і всіх його елементів виконуються по складним методикам розрахунку на міцність з урахуванням температурних полів і термопружних напруг за допомогою розроблених для ЕОМ програм. СВТ є унікальні великогабаритні конструкції з товщиною стінки корпусу до 0,3 м і висотою до 20-30 м і більше, кількість шарів товщиною 4-7 мм в багат шаровому корпусі може бути від 7 до 60, довжина шпильок для фланцевих затворів досягає 1 м і більше з різьбленням до М200х6, де 200 мм - зовнішній діаметр різьби. При виготовленні СВТ застосовуються досконалі технології електрошлакового зварювання і термічної обробки зварних з'єднань, а також комплексний неруйнівного контролю якості виготовлення СВТ і його елементів [6].

4 Ремонт

Здатність обладнання до ефективної роботи згідно з вимогами нормативно-технічної документації протягом всього терміну експлуатації залежить від якості технічного обслуговування і ремонту по кожному вузлу обладнання.

Ремонт – це комплекс операцій з відновлення справності або працездатності виробів і відновлення ресурсів виробів і їх складових частин (ГОСТ 18322-78)[5].

Типові роботи при ремонті теплообмінника:

- 1) розбирання, збірка;
- 2) ремонт водяних камер, каркаса трубного пучка;
- 3) очищення трубних дошок, трубок, міжтрубному простору;
- 4) заміна трубок, включаючи їх вирізку, установку нових трубок, закріплення трубок в трубних дошках;
- 5) перевірка герметичності.

При виконанні цих робіт можуть виконуватися такі технологічні операції:

- 1) електрогазозварка;
- 2) електрогазорізка;
- 3) механічна обробка;
- 4) вальцеваніє і ін.

4.1 Класифікація видів ремонту

Класифікацію ремонту проводять по одному з наступних розмежувальних ознак: плановані, періодичності проведення, обсягом проведених робіт, ступеня регламентації робіт і т.д.

Різні види ремонту можна проводити за допомогою різних методів, сукупності технологічних і організаційних правил виконання ремонтних операцій.

У практиці розрізняють наступні види ремонту (згідно ГОСТ 18322-78).

Плановий - ремонт, постановка обладнання на який здійснюється відповідно до вимог нормативно-технічної документації.

Неплановий (аварійний) - ремонт, постановка на який здійснюється без попереднього призначення, проводиться при раптовому відмову апарату.

Поточний - ремонт, що виконується для забезпечення або відновлення працездатності виробу і полягає в заміні і (або) відновленні окремих частин.

Середній - ремонт, що виконується для відновлення справності та часткового відновлення ресурсу виробів з заміною або відновленням складових частин обмеженої номенклатури і контролем технічного стану складових частин, що виконуються в обов'язі, встановленому в нормативно-технічної документації.

Капітальний - ремонт, що виконується для відновлення справності та повного (або близького до повного) відновлення ресурсу виробу із заміною чи відновленням будь-яких його частин, включаючи базові.

Знеособлений (агрегатний) - метод ремонту, при якому несправні агрегати замінюються новими або заздалегідь відремонтованими. Під агрегатом розуміється складальна одиниця, що володіє властивостями повної взаємозамінності, незалежної збірки і самостійного виконання певної функції в виробках різного призначення.

Ремонт за технічним станом - метод ремонту, при якому перелік операцій визначається за результатами контролю технічного стану і діагностування обладнання.

4.2 Зміст перерахованих вище видів ремонту

Плановий ремонт обладнання заснований на вивченні і аналізі ресурсів роботи деталей і вузлів з встановленням технічно і економічно

обґрунтованих норм і нормативів. Плановий ремонт передбачає виведення в ремонт обладнання з урахуванням вимог діючих в галузі нормативів.

У плановому порядку виконуються капітальний, середній і поточний ремонти. Вид ремонту допоміжного (теплообмінного) обладнання може відрізнитися від виду ремонту основного обладнання (турбоустановки), але виконується в строки, що визначаються ремонтом основного устаткування.

Планування ремонту обладнання включає в себе розробку перспективних графіків ремонту і модернізації основного обладнання станцій (електричних і компресорних); річних графіків ремонту основного обладнання станцій; річних і місячних графіків ремонту допоміжного і загальностанційного обладнання.

Перспективний графік ремонту і модернізації основного обладнання станцій зазвичай розробляється на 5 років на підставі відомостей, що подаються станціями, і служить підставою для планування трудових, матеріальних і фінансових ресурсів по роках планованого періоду. Перспективний графік ремонту може щорічно коригуватися з урахуванням обстановки, що склалася або виниклих потреб.

Річний графік ремонту основного обладнання, як правило, встановлює календарний час виведення в ремонт кожної турбоустановки (енергоблоку), тривалість ремонту і планований обсяг робіт за виконавцями. Річний графік розробляється на планований рік відповідно до затвердженого перспективним графіком з урахуванням технічного стану обладнання. При цьому в річний графік можуть бути внесені обґрунтовані зміни позицій перспективного графіка.

Поточний ремонт теплообмінних апаратів виробляють для контролю і підтримки обладнання в працездатному стані. Він повинен проводитися на зупиненому обладнанні. Основні операції, що виконуються при поточному ремонті теплообмінних апаратів, включають в себе:

- зовнішній огляд апарату з виправленням зовнішніх дефектів ізоляції, заміною болтів і шпильок, підтяжкою болтових і різьбових з'єднань;
- перевірку стану арматури і заміну або ремонт її;
- огляд і налагодження контрольно-вимірювальної апаратури;
- перевірку і налагодження конденсатоотводчиків і дренажів;
- огляд і оцінку стану внутрішніх поверхонь апарату.

Середній ремонт теплообмінного апарату передбачає ревізію окремих вузлів, а також відновлення та заміну зношених деталей і пов'язаний, як правило, з розбиранням апарату. До основних операцій, виконуваних при середньому ремонті, відносяться:

- роботи, що передбачаються поточним ремонтом;
- заміна арматури з перевіркою запобіжних клапанів на гідравлічному пресі;
- перевірка герметичності трубної системи і корпусу і усунення пошкоджень;
- ревізія різноманітних різьбових, сальникових і фланцевих з'єднань;
- розбирання і ремонт допоміжних елементів з відновленням або заміною окремих вузлів і деталей;
- ремонт обмурівки та антикорозійного покриття;
- ремонт ізоляції та фарбування поверхонь апарату.

Капітальний ремонт має на меті відновлення працездатності обладнання по можливості до початкового технічного стану. При капітальному ремонті проводиться повне розбирання апарату з ремонтом окремих деталей і вузлів на місці, в ремонтних цехах або підприємствах. Капітальний ремонт проводиться за спеціально розробленим планом і забезпечується необхідними документами і матеріалами (дефектними відомостями, кресленнями, запасними частинами, інструментами, пристосуваннями, підйомно-транспортним та такелажним обладнанням), а також робочою силою і ремонтної майданчиком. При капітальному ремонті

може бути проведена заміна трубного пучка або всього теплообмінного апарату.

Послідовність операцій при капітальному ремонті:

1) ознайомлення з кресленнями і дефектною відомістю на апарат; підготовка необхідних запасних деталей, інструменту, матеріалів і підйомно-транспортних пристроїв;

2) отримання дозволу на відключення обладнання, що підлягає ремонту;

3) зняття контрольно-вимірювальних приладів, розтин апарату і розбирання його на вузли і деталі;

4) промивання очищення;

5) відбраковування деталей методом огляду і вимірів, уточнення дефектної відомості на ремонт і відомості на запасні частини;

6) ремонт деталей, складання вузлів, підгонка деталей і вузлів;

7) виготовлення нових деталей і вузлів, внесення удосконалень, намічених до реалізації в період капітального ремонту;

8) збірка, випробування апарату і усунення виявлених дефектів;

9) перевірка апарату після складання, підготовка до випробування;

10) випробування апарату і здача його в експлуатацію.

Завершується виконання капітального ремонту складанням акту про передачу обладнання в експлуатацію.

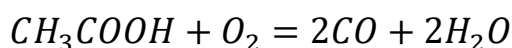
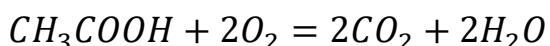
Знеособлений метод ремонту використовується в тому випадку, коли не зберігається приналежність відновлених елементів та вузлів певного теплообмінних апаратів. Цей метод може застосовуватися, якщо на станції встановлено кілька однотипних теплообмінних апаратів. При цьому методи скорочується час ремонту, роботи можуть бути повніше спеціалізовані, підвищується продуктивність праці[5].

5 Розробка технологічної схеми у частині реакційного блоку

5.1 Процес глибокого окиснення органічних відходів

Технологія знешкодження рідких відходів відбувається із застосуванням рідких реагентів-відновлювачів з процесами випару рідини безпосередньо в реакційній зоні на поверхні часток диспергованого матеріалу. Використання псевдозрідженого шару часток диспергованого матеріалу дозволяє здійснювати хімічну взаємодію речовин незалежно від їхнього агрегатного стану[3].

Процес описується наступними сумарними рівняннями:



Рідина (без попереднього випару) уводиться безпосередньо в шар псевдозрідженого каталізатора. Основною перевагою реактора, розробленого для реалізації такого процесу, служить сполучення зон випару й реакції в одному апараті. Для випару рідини й нагрівання реагентів використовується повністю або частково тепло реакції окиснення.

Можливість здійснення такого технічного рішення впливає з особливостей явища псевдозрідження твердих часток. У шарі каталізатора відбувається вирівнювання градієнта температур. При безпосередньому контакті рідкого реакційного потоку з розігрітою каталітичною масою відбувається інтенсифікація массо- і теплообмінних процесів і вирівнювання температури реагентів і каталізатора. У цьому й полягає основна перевага застосування псевдозрідженого шару каталізатора перед стаціонарним, тому що для останнього характерний певний градієнт температур по перерізу й висоті шару каталізатора, що знижує ефективність процесу.

Розробка технології термокatalітичного окиснення органічних речовин у реакторі із псевдозрідженим шаром дозволила ефективно знешкоджувати

промислові стічні води з різним змістом органіки в інтервалі температур 400 ... 600[°C]. Для процесу застосовуються міднохромові каталізатори, нанесені на сферичний оксид алюмінію. Окиснення органічних складових стоків відбувається до утворення термодинамічно стійких продуктів: діоксиду вуглецю й води. Надлишок кисню підтримується в межах 1.05...1.1.

Вибухобезпечність технології забезпечується застосуванням псевдозрідженого шару твердого матеріалу, що має властивості гасити виникаюче полум'я. Рекомендоване значення порізності псевдозрідженого шару каталізатора становить 0.56...0.58 при діаметрі часток каталізатора не більш 2 [мм].

Для зіставлення активності ряду каталітичних систем при окисненні різних класів органічних сполук уведено поняття граничного навантаження по вуглецю. Граничне навантаження – це величина, що забезпечує концентрацію монооксиду вуглецю в газах, що відходять, до 20 [мг/м³] (ПДК робочої зони) [3].

5.2 Опис технологічної схеми пілотної установки

На рис. 4. наведена технологічна схема пілотної установки із реактором окиснення органічних відходів

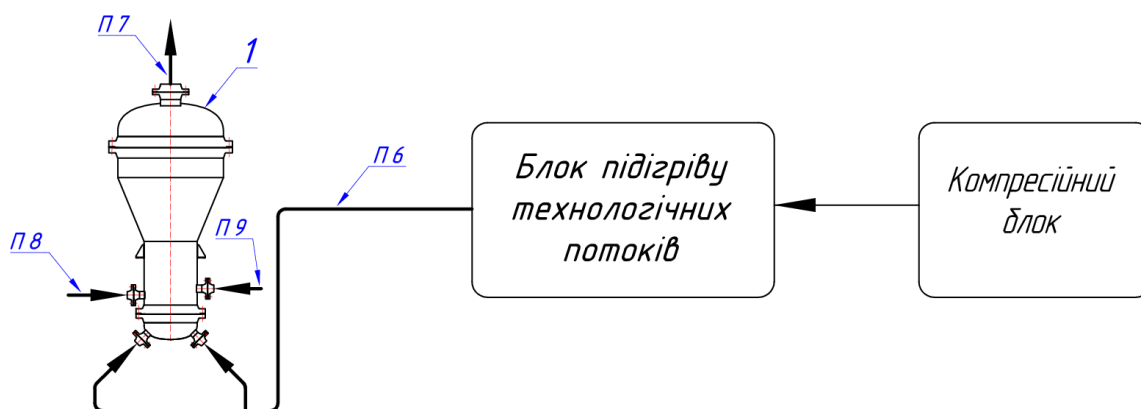


Рисунок 4 – Технологічна схема пілотної установки із реактором окиснення органічних відходів

Технологічні потоки схеми установки з реактором окиснення органічних відходів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Технологічні потоки:		
П6	–	повітря з виходу підігрівача повітря на вхід реактора;
П7	–	вихід продукту з реактора;
П8	–	подача рідкого агента в реактор;
П9	–	подача каталізатора в реактор.

Попереднє стиснений до 1 [МПа] та нагрітий до температури початку реакції 430 [°C] газ подається до реактора (1). У реактор також подаються каталізатор та рідкий агент – водний розчин органічних відходів. Реакція глибокого окиснення відбувається у реакторі в режимі псевдозрідження.

6 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість елементів реактора

6.1 Розрахунок на міцність, жорсткість і стійкість

Визначення розрахункових параметрів

Приймаємо розрахункову температуру в апараті рівній робочій температурі:

$$t_{\text{раб}} = t = 500 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Напруги, що допускаються

Матеріал для апарату - сталь 12Х18Н10Т:

$$[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа}; [\sigma]_{500} = 127 \text{ МПа};$$

Розрахунковий, робочий і пробний тиск в апараті

1. Тиск спрацьовування запобіжного клапана.

$$P_k = 1.15 \cdot P_{\text{раб}} \quad (13)$$

де $P_{\text{раб}}$ – робочий тиск;

$$P_k = 1,15 \cdot 1 = 1,15 \text{ МПа}$$

2. Розрахунковий тиск без урахування гідростатичного

$$P_p = 0,9 \cdot P_k \quad (14)$$

$$P_p = 0,9 \cdot 1,15 = 1,035 \text{ МПа}$$

3. Гідростатичний тиск середовища:

$$P_\Gamma = \rho_c \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6}, \text{ МПа} \quad (15)$$

де ρ_c – густина середовища;

g – прискорення вільного падіння;

H_c – висота середовища в апараті;

$$H_c = 2,5 \text{ м}$$

$$P_\Gamma = \rho_c \cdot g \cdot H_c \cdot 10^{-6} = 1596 \cdot 9,81 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} = 0,039 \text{ МПа}$$

$$\text{Перевіряємо умову } P_\Gamma < 5\% P_{\text{раб}}, \quad P_\Gamma = 0,039 < P_{\text{раб}} = 0,05 \cdot 1 = 0,05 \text{ МПа}$$

Оскільки P_Γ складає менше 5% от $P_{\text{раб}}$, то в подальших розрахунках воно не враховується.

Приймаємо розрахунковий тиск $P = 1.035$ МПа

Гідростатичний тиск води в умовах випробування

Пробний тиск:

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot P \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \text{ МПа} \quad (16)$$

$$P_{\text{пр}} = 1,25 \cdot 1,035 \cdot \frac{184}{127} = 1,87 \text{ МПа}$$

Гідростатичний тиск води :

$$P_B = \rho_B \cdot g \cdot H_B = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,0294 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову $P_B > 0,05P_{\text{пр}}$. $P_B = 0,0294 < P_{\text{пр}} = 0,05 \cdot 1,87 = 0,0935$ МПа

Оскільки P_B складає менше 5% від $P_{\text{пр}}$, то в подальших розрахунках воно не враховується.

Розрахунковий тиск в умовах випробування:

$$P_B = P_{\text{пр}} = 1,87 \text{ МПа.}$$

Перевіряємо умову

$$P_B < 1,35 \cdot P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} \quad (17)$$

$$1,87 < 1,35 \cdot 1,035 \cdot (184/127) = 2,027 \text{ МПа}$$

Умова виконується, отже, немає необхідності надалі проводити розрахунок на міцність в умовах випробування.

Коефіцієнт міцності зварних швів, група апарату

При розрахунку на міцність зварних елементів посудин і апаратів в розрахункові формули слід вводити коефіцієнт міцності зварних з'єднань ϕ .

Для визначення коефіцієнта міцності зварних з'єднань необхідно встановити групу посудини залежно від розрахункового тиску, температури стінки і характеру робочого середовища. По [4] приймаю 2 групу посудини згідно середовищу в апараті.

Об'єм контролю зварних з'єднань посудин і їх елементів радіографічним методом або ультразвуковою дефектоскопією приймаю виходячи з групи посудини по [4] не менше 100%. Згідно величині об'єму

контролю зварних з'єднань визначаю коефіцієнт міцності зварного шва по [4]
 $\varphi = 1$.

Розрахунок товщини обичайки корпусу

Розрахунок товщини стінки обичайки для робочих умов

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P}, \quad (18)$$

де P розрахунковий внутрішній надмірний тиск, МПа;

D – внутрішній діаметр обичайки, мм.

$$S_p = \frac{1,035 \cdot 400}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 1,035} = 1,63 \text{ мм.}$$

Розрахунок товщини стінки обичайки в умовах випробування

$$S_p = \frac{P_B \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_B \cdot \varphi - P_B}, \quad (19)$$

де P_B – тиск випробування, МПа;

D – внутрішній діаметр обичайки, мм.

$$S_p = \frac{1,87 \cdot 400}{2 \cdot 250,91 \cdot 1 - 1,87} = 1,5 \text{ мм.}$$

За розрахункову товщину стінки обечайки прийнята більша величина.

Добавку C_1 визначаємо, виходячи з максимально допустимої швидкості корозії $\pi = 0,1$ мм/рік, розрахункового терміну служби апарата $\tau = 20$ років і приймаючи добавку для компенсації ерозії рівною нулю

$$C_1 = \pi \cdot \tau + C_e \quad (20)$$

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

Виконавча товщина стінки обичайки без урахування добавки для компенсації мінусового допуску дорівнює

$$S \geq S_p + C_1 \quad (21)$$

$$S \geq 1,64 + 2 = 3,64 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки циліндричної обичайки визначаємо з урахуванням добавки на мінусовий допуск $C_2 = 0,4$ мм для листа товщиною 4 мм

$$S \geq S_p + C_1 + C_2 \quad (22)$$

$$S \geq 1,63 + 2 + 0,4 = 4,03 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки рівною $S = 5$ мм. Перевіряємо необхідність урахування добавки для компенсації мінусового допуску сталевих листа товщиною 5 мм

$$C_2 = 0,4 > 0,05 \cdot S = 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ мм} \quad (23)$$

$$C_2 = 0,4 > 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ мм}$$

Добавку враховуємо, тому що вона складає понад 5 % від товщини листа.

Сума добавок

$$C = C_1 + C_2 \quad (24)$$

$$C = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ мм}$$

дорівнює попередньо прийнятій.

Розрахунок внутрішнього тиску, що допускається

Внутрішній тиск, що допускається, розраховую по формулі:

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (25)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 127 \cdot 1 \cdot (5 - 2,4)}{400 + (5 - 2,4)} = 1,64 \text{ МПа}$$

Умова міцності $P < [P]$, $P = 1,035 < [P] = 1,64$ МПа виконується.

6.2 Розрахунок нижнього еліптичного днища

Розрахунок товщини днища

$$S_{2p} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P} \quad (26)$$

$$S_{2p} = \frac{1,035 \cdot 400}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,035} = 1,64 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки еліптичного днища:

$$S_2 \geq S_{2p} + C_1 \quad (27)$$

$$S_2 \geq 1,64 + 2 = 3,64 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки визначаємо з урахуванням добавки на мінусовий допуск

$$C_2 = 0,4 \text{ мм для листа товщиною 4 мм}$$

$$S \geq S_p + C_1 + C_2 \quad (28)$$

$$S \geq 1,64 + 2 + 0,4 = 4,04 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки рівною $S = 5$ мм. Перевіряємо необхідність урахування добавки для компенсації мінусового допуску сталевого листа товщиною 6 мм

$$C_2 = 0,4 > 0,05 \cdot S = 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ мм} \quad (29)$$

$$C_2 = 0,4 > 0,05 \cdot 5 = 0,25 \text{ мм}$$

Добавку враховуємо, тому що вона складає понад 5 % від товщини листа.

Сума добавок

$$C = C_1 + C_2 \quad (30)$$

$$C = 2 + 0,4 = 2,4 \text{ мм}$$

дорівнює попередньо прийнятій.

Розрахунок внутрішнього тиску, що допускається

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (31)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot (5 - 2,4) \cdot 1 \cdot 127}{400 + 0,5 \cdot (5 - 2,4)} = 1,64 \text{ МПа}$$

Умова міцності $P \leq [P]$ $P = 1,035 < [P] = 1,64 \text{ МПа}$ - виконується.

6.3 Розрахунок конічного переходу

Приймаємо половину кута при вершині конічного переходу рівною $\alpha = 22,5^\circ$. Розрахункову довжину перехідної частини з'єднання без тороїдального переходу визначаємо, приймаючи для попереднього розрахунку товщину стінки перехідної частини конічного переходу:

$$\alpha_1 = 0,7 \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha} (S_1 - C)} \quad (32)$$

$$\alpha_1 = 0,7 \sqrt{\frac{800}{\cos 22,5^\circ}} (6 - 2,4) = 39,08 \text{ мм}$$

Визначаємо розрахунковий діаметр гладкої конічної обичайки:

$$D_k = D - 1,4\alpha_1 \cdot \sin \alpha \quad (33)$$

$$D_k = 800 - 1,4 \cdot 39,08 \cdot \sin 22,5^\circ = 779,05 \text{ мм}$$

Допустима напружиння по [12] матеріалу стінки конічної обичайки при розрахунковій температурі $t = 500^\circ \text{C}$ дорівнює:

$$[\sigma]_{500} = 127 \text{ МПа}$$

Розрахункова товщина стінки конічної обичайки:

$$S_{kp} = \frac{P \cdot D_k}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \quad (34)$$

$$S_{kp} = \frac{1,035 \cdot 779,04}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 1,035} \cdot \frac{1}{\cos 15^\circ} = 3,45 \text{ мм}$$

Виконавча товщина конічної обичайки:

$$S_k \geq S_{kp} + C_1 \quad (35)$$

$$S_k \geq 3,45 + 2,4 = 5,85 \text{ мм}$$

приймаємо рівною $S_k = 8 \text{ мм}$

Отримана в результаті розрахунку товщина стінки конічного переходу не збігається з попередньо прийнятою. А отже прийнята більша величина.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S_k - C)}{\frac{D_k}{\cos \alpha} + (S_k - C)} \quad (36)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 127 \cdot 1 \cdot (8 - 2,4)}{\frac{779,04}{\cos 22,5^\circ} + (8 - 2,4)} = 1,68 \text{ МПа}$$

Умова міцності $P \leq [P]$ $P = 1,035 < [P] = 1,68 \text{ МПа}$ - виконується.

Умови застосування формул:

$$\alpha = 22,5^\circ < 70^\circ$$

$$a_{1D} = \frac{D - (D_m + 2S_m)}{2 \cdot \sin \alpha} \quad (37)$$

$$a_{1D} = \frac{800 - (400 + 2 \cdot 8)}{2 \cdot \sin 22,5^\circ} = 741,3 > \alpha_1 = 38,22 \text{ мм},$$

виконуються.

Товщини стінок перехідних частин конічної s_1 і циліндричної s_2 обичайок розраховуємо методом послідовних наближень, попередньо прийнявши $s_1 = s_k = 8 \text{ мм}$ і $s_2 = s_m = 5 \text{ мм}$.

Визначаємо коефіцієнт χ :

$$\chi = \frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_2} \quad (38)$$

$$\chi = \frac{127}{127} = 1$$

Для визначення розрахункової товщини стінки перехідної частини циліндричної обичайки визначаємо значення коефіцієнтів β :

$$\beta = 0,4 \sqrt{\frac{D}{S_2 - C}} \cdot \frac{\text{tg} \alpha}{1 + \sqrt{\frac{1 + \chi \left(\frac{S_1 - C}{S_2 - C}\right)^2}{2 \cdot \cos \alpha} \cdot \chi \cdot \frac{S_1 - C}{S_2 - C}}} - 0,25 \quad (39)$$

$$\beta = 0,4 \sqrt{\frac{800}{5 - 2,4}} \cdot \frac{\text{tg} 22,5^\circ}{1 + \sqrt{\frac{1 + 1 \cdot \left(\frac{8 - 2,4}{5 - 2,4}\right)^2}{2 \cdot \cos 22,5^\circ} \cdot 1 \cdot \frac{8 - 2,4}{5 - 2,4}}} - 0,25 = 0,566$$

$$\beta_1 = \max\{0,5; \beta\} = \max\{0,5; 0,566\} = 0,566$$

Розрахунковий коефіцієнт міцності зварних з'єднань при дії внутрішнього надлишкового тиску для з'єднання без тороїдального переходу по [12]:

$$\varphi_R = \sqrt{\varphi_T} = \sqrt{1} = 1$$

Визначаємо розрахункову товщину стінки перехідної частини циліндричної обичайки визначаємо:

$$S_{2p} = \frac{P \cdot D \cdot \beta_1}{2 \cdot [\sigma]_2 \cdot \varphi_R - P} \quad (40)$$

$$S_{2p} = \frac{1,035 \cdot 800 \cdot 0,566}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 1,035} = 1,85 \text{ мм}$$

Визначаємо виконавчу товщину стінки перехідної частини циліндричної обичайки:

$$S_2 \geq S_{2p} + C \quad (41)$$

$$S_2 \geq 1,85 + 2,4 = 4,25 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки перехідної частини циліндричної обичайки рівною товщині стінки циліндричної обичайки $S_2 = 5 \text{ мм}$. Отримана в результаті розрахунку виконавча товщина стінки перехідної частини збігається з попередньо прийнятою.

Розраховуємо товщину стінки конічної перехідної частини невідбортованого переходу:

$$S_1 \geq \frac{S_1 - C}{S_2 - C} \cdot S_{2p} + C \quad (42)$$

$$S_1 \geq \frac{8 - 2,4}{5 - 2,4} \cdot 1,85 + 2,4 = 6,38 \text{ мм}$$

Приймаємо товщину стінки конічної перехідної частини невідбортованого переходу рівною

$$S_1 = S_k = 8 \text{ мм}$$

Умова застосування формул

$$S_1 - C = 8 - 2,4 = 5,6 > S_2 - C = 5 - 2,4 = 2,6 \text{ мм}$$

виконується.

Визначаємо допустимий внутрішній надлишковий тиск за умови міцності конічної перехідної частини:

$$[P] = \frac{2[\sigma]_2 \cdot \varphi_p \cdot (S_2 - C)}{D \cdot \beta_1 + (S_2 - C)} \quad (43)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 127 \cdot 1 \cdot (5 - 2,4)}{800 \cdot 0,566 + (5 - 2,4)} = 1,45 \text{ МПа}$$

Умова міцності $P \leq [P]$ $P = 1,035 < [P] = 1,45 \text{ МПа}$ - виконується.

Умова застосування розрахункових формул

$$0,001 < \frac{S_1 \cdot \cos \alpha}{D} = \frac{8 \cdot \cos 22,5^\circ}{800} = 0,00924 < 0,05$$

виконується.

6.4 Розрахунок верхнього еліптичного днища

Розрахунок товщини днища

$$S_{2p} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P} \quad (44)$$

$$S_{2p} = \frac{1,035 \cdot 800}{2 \cdot 127 \cdot 1 - 0,5 \cdot 1,035} = 3,27 \text{ мм}$$

Виконавча товщина стінки еліптичного днища:

$$S_2 \geq S_{2p} + C_1 \quad (45)$$

$$S_2 \geq 3,27 + 2 = 5,27 \text{ мм}$$

Виконавчу товщину стінки циліндричної обичайки визначаємо з урахуванням добавки на мінусовий допуск $C_2 = 0,6$ мм для листа товщиною 8 мм

$$S \geq S_p + C_1 + C_2 \quad (46)$$

$$S \geq 3,27 + 2 + 0,6 = 5,87 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки обичайки рівною $S = 8$ мм. Перевіряємо необхідність урахування добавки для компенсації мінусового допуску сталевих листа товщиною 8 мм

$$C_2 = 0,6 > 0,05 \cdot S = 0,05 \cdot 8 = 0,4 \text{ мм} \quad (47)$$

$$C_2 = 0,6 > 0,05 \cdot 8 = 0,4 \text{ мм}$$

Добавку враховуємо, тому що вона складає понад 5 % від товщини листа.

Сума добавок

$$C = C_1 + C_2 \quad (48)$$

$$C = 2 + 0,6 = 2,6 \text{ мм}$$

дорівнює попередньо прийнятій.

Розрахунок внутрішнього тиску, що допускається

$$[P] = \frac{2[\sigma] \cdot \varphi_p \cdot (S - C)}{D + (S - C)} \quad (49)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot (8 - 2,6) \cdot 1 \cdot 127}{800 + 0,5 \cdot (8 - 2,6)} = 1,71 \text{ МПа}$$

Умова міцності $P \leq [P]$ $P = 1,035 < [P] = 1,71 \text{ МПа}$ - виконується.

6.5 Розрахунок фланцевого з'єднання апарату

Визначаємо розрахункові температури фланця і болтів

$$t_\phi = t = 500 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_\sigma = 0,97 t = 0,97 \cdot 500 = 485 \text{ }^\circ\text{C}.$$

По стандарту [10] при заданих розрахункових параметрах для фланців, виготовлених зі сталі марки 12X18H10T, в якості матеріалу болтів приймаємо сталь марки 10X17H13M3T.

Допустима напруження матеріалу болтів $[\sigma]_\sigma$, МПа, при розрахунковій температурі $t_\sigma = 485 \text{ }^\circ\text{C}$ визначаємо методом лінійної інтерполяції $[\sigma]_\sigma = 128,5 \text{ МПа}$.

Допустиме напруження для сталі марки 12X18H10T при розрахунковій температурі $t = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ по стандарту [12] приймаємо рівним $[\sigma] = 127 \text{ МПа}$, при температурі $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – $[\sigma]_{20} = 184 \text{ МПа}$.

Мінімальне значення межі текучості для сталі марки 12X18H10T при розрахунковій температурі $t = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ приймаємо рівним $R_{p0,2} = 170 \text{ МПа}$; при температурі $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – $R_{p0,2}^{20} = 240 \text{ МПа}$. Мінімальне значення тимчасового опору при розрахунковій температурі $t = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ приймаємо рівним $R_m = 420 \text{ МПа}$, при температурі $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – $R_m^{20} = 540 \text{ МПа}$.

На мал. 5. наведене фланцеве з'єднання.

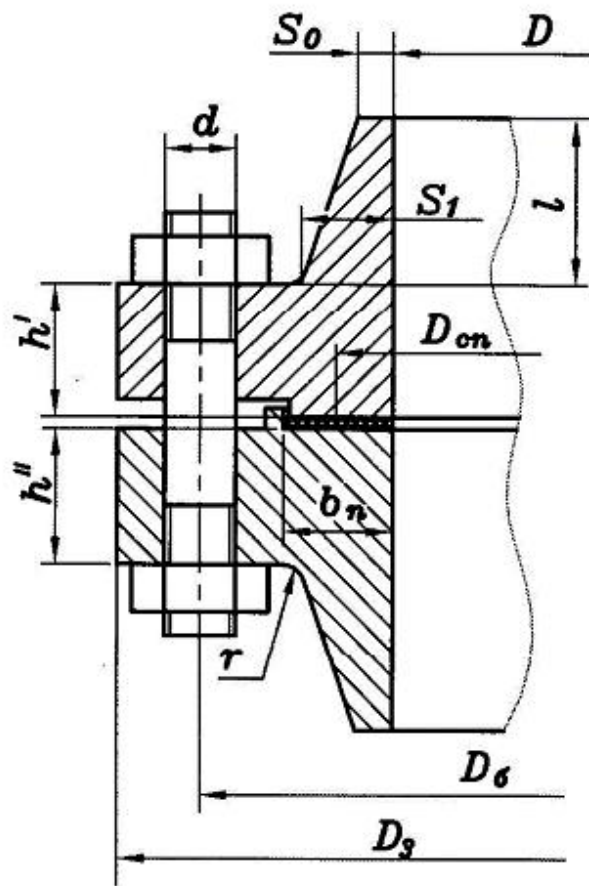


Рисунок 5 – Фланцеве з'єднання з приварними встик фланцями та ущільнювальною поверхнею типу «виступ-западина»

Визначаємо допустимі напруження для матеріалу приварних встик фланців в перерізі S_1 :

– в робочих умовах за формулою:

$$[\sigma]_{S1} = 1,5 [\sigma]; \quad (50)$$

$$[\sigma]_{S1} = 1,5 \cdot 127 = 190,5 \text{ МПа};$$

– в умовах затягування фланцевого з'єднання за формулою:

$$[\sigma]_{S1}^{20} = 1,5 [\sigma]^{20}; \quad (51)$$

$$[\sigma]_{S1}^{20} = 1,5 \cdot 184 = 276 \text{ МПа};$$

– в умовах випробування за формулою:

$$[\sigma]_{s1}^e = 2,0 [\sigma]^{20} \quad (52)$$

$$[\sigma]_{s1}^e = 2,0 \cdot 184 = 368 \text{ МПа.}$$

Визначаємо допустимі напруження для матеріалу приварних встик фланців в перерізі S_0 :

– в робочих умовах за формулою:

$$[\sigma]_{s0} = \left(4,5 - 2,0 \frac{R_{p0,2}}{R_m} \right) \cdot [\sigma]; \quad (53)$$

$$[\sigma]_{s0} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{170}{420} \right) \cdot 127 = 468,69 \text{ МПа;}$$

– в умовах затягування фланцевого з'єднання за формулою:

$$[\sigma]_{s0}^{20} = \left(4,5 - 2,0 \frac{R_{p0,2}^{20}}{R_m^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20}; \quad (54)$$

$$[\sigma]_{s0}^{20} = \left(4,5 - 2,0 \cdot \frac{240}{540} \right) \cdot 184 = 664,4 \text{ МПа;}$$

– в умовах випробування за формулою:

$$[\sigma]_{s0}^e = \left(6,0 - 2,7 \frac{R_{p0,2}^{20}}{R_m^{20}} \right) \cdot [\sigma]^{20}, \quad (55)$$

$$[\sigma]_{s0}^e = \left(6,0 - 2,7 \cdot \frac{240}{540} \right) \cdot 184 = 883,2 \text{ МПа.}$$

Так як розрахунковий тиск P в робочих умовах, помножений на величину $1,35 [\sigma]_{20} / [\sigma]$,

$$P_g = 1,87 < 1,35 P \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]} = 1,35 \cdot 1,035 \cdot \frac{184}{127} = 2,024 \text{ МПа}$$

більше розрахункового P_g в умовах випробування, розрахунок фланцевого з'єднання для умов випробувань не проводимо [9].

Розрахунок допоміжних величин

Згідно з малюнком 8.1 виконавча ширина прокладки дорівнює $b_{n1} = 29$ мм, $b_{n2} = 38$ мм, середній діаметр прокладки – $D_{cn1} = 429$ мм, $D_{cn2} = 833$ мм

Ефективну ширину прокладки визначаємо за формулою:

$$b_0 = 0,25 b_n. \quad (56)$$

$$b_{01} = 0,25 \cdot 29 = 7,25 \text{ мм.}$$

$$b_{02} = 0,25 \cdot 38 = 9,5 \text{ мм.}$$

Відстань між фланцями δ визначаємо відповідно розмірам фланця по стандарту [10] і прокладки по стандарту [9], $\delta = 10 \text{ мм}$

Відстань між опорними поверхнями гайок $l_{\delta 0}$ визначаємо за формулою:

$$l_{\delta 0} = 2 h + \delta \quad (57)$$

$$l_{\delta 01} = 2 h + \delta = 2 \cdot 35 + 10 = 80 \text{ мм.}$$

$$l_{\delta 02} = 2 h + \delta = 2 \cdot 45 + 10 = 100 \text{ мм.}$$

Розрахункову довжину болта визначаємо за формулою:

$$l_{\delta} = l_{\delta 0} + 0,56 d \quad (58)$$

$$l_{\delta 1} = 80 + 0,56 \cdot 23 = 92,9 \text{ мм.}$$

$$l_{\delta 2} = 100 + 0,56 \cdot 23 = 112,9 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу болта по внутрішньому діаметру різьби $f_{\delta} = 225 \text{ мм}^2$. Модуль поздовжньої пружності матеріалу гайок (сталь марки 10X17H13M3T) при температурі $t = 20^{\circ}\text{C}$ визначаємо по стандарту [12] $E_{\delta}^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

Податливість болтів визначаємо за формулою:

$$y_{ui} = \frac{l_{\delta}}{E_{\delta}^{20} \cdot f_{\delta} \cdot n}, \quad (59)$$

$$y_{\delta 1} = \frac{92,9}{2 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 20} = 10,322 \cdot 10^{-8} \text{ 1/Н}\cdot\text{мм.}$$

$$y_{\delta 2} = \frac{112,9}{2 \cdot 10^5 \cdot 225 \cdot 40} = 6,272 \cdot 10^{-8} \text{ 1/Н}\cdot\text{мм.}$$

Розміри конічної втулки у відповідності зі стандартом [10] складають:

– товщина в місці з'єднання з обичайкою

$$S_{01} = 6 \text{ мм};$$

$$S_{02} = 9 \text{ мм};$$

– товщина в місці з'єднання з фланцем

$$S_{11} = 18 \text{ мм};$$

$$S_{12} = 23 \text{ мм};$$

– довжина конічної втулки

$$l_1 = 35 \text{ мм}.$$

$$l_2 = 40 \text{ мм}.$$

Коефіцієнти β , X , K_I визначаємо по формулам (11.48)–(11.50):

$$K_1 = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{X}{X + 0,25(1 + \beta)}. \quad (60)$$

$$\beta = S_1 / S_0, \quad (61)$$

$$\beta_1 = \frac{18}{6} = 3;$$

$$\beta_2 = \frac{23}{9} = 2,56;$$

$$X = l / \sqrt{D \cdot S_0}, \quad (62)$$

$$X_1 = \frac{35}{\sqrt{400 \cdot 6}} = 0,714;$$

$$X_2 = \frac{40}{\sqrt{800 \cdot 9}} = 0,471;$$

$$K_1 = 1 + (3 - 1) \cdot \frac{0,714}{0,714 + 0,25(1 + 3)} = 1,833.$$

$$K_2 = 1 + (2,56 - 1) \cdot \frac{0,471}{0,471 + 0,25(1 + 2,56)} = 1,54.$$

Еквівалентну товщину втулки приварного встик фланця визначаємо за формулою:

$$S_3 = K_1 \cdot S_0, \quad (63)$$

$$S_{31} = 1,833 \cdot 6 = 10,998 \text{ мм}.$$

$$S_{32} = 1,54 \cdot 9 = 13,86 \text{ мм}.$$

Значення коефіцієнтів j , ψ_1 , ψ_2 , λ , ω визначаємо за формулами (11.52)–(11.56):

$$j = h/S_0 . \quad (64)$$

$$j_1 = \frac{35}{6} = 5,83;$$

$$j_2 = \frac{40}{9} = 4,44;$$

$$\psi_1 = 1,28 \lg(D_H/D), \quad (65)$$

$$\psi_{11} = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{535}{400}\right) = 0,162;$$

$$\psi_{12} = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{945}{800}\right) = 0,093;$$

$$\psi_2 = \frac{D_H + D}{D_H - D} \quad (66)$$

$$\psi_{21} = \frac{535 + 400}{535 - 400} = 6,926;$$

$$\psi_{22} = \frac{945 + 800}{945 - 800} = 12,03;$$

$$\lambda = h/\sqrt{D \cdot S_0} . \quad (67)$$

$$\lambda_1 = \frac{35}{\sqrt{400 \cdot 6}} = 0,714;$$

$$\lambda_2 = \frac{45}{\sqrt{800 \cdot 9}} = 0,53;$$

$$\omega = \frac{1}{1 + 0,9 \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)} , \quad (68)$$

$$\omega_1 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,714 \cdot (1 + 0,162 \cdot 5,83^2)} = 0,193.$$

$$\omega_2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot 0,53 \cdot (1 + 0,093 \cdot 4,44^2)} = 0,333.$$

Модуль поздовжньої пружності для матеріалу фланця при температурі $t = 20^\circ\text{C}$ визначаємо по стандарту [8],

$$E^{20} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Кутову податливість фланця визначаємо за формулою:

$$y_{\phi} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \lambda)] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3}, \quad (69)$$

$$y_{\phi 1} = \frac{[1 - 0,193 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,714)] \cdot 6,926}{2 \cdot 10^5 \cdot 35^3} = 5,5 \cdot 10^{-10} \text{ 1/H} \cdot \text{мм.}$$

$$y_{\phi 2} = \frac{[1 - 0,33 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,53)] \cdot 12,03}{2 \cdot 10^5 \cdot 45^3} = 3,38 \cdot 10^{-10} \text{ 1/H} \cdot \text{мм.}$$

Плечі моментів сил визначаємо за формулами (11.58) та (11.59):

$$b = 0,5 (D_{\phi} - D_{cn}); \quad (70)$$

$$b_1 = 0,5 \cdot (495 - 429) = 33 \text{ мм};$$

$$b_2 = 0,5 \cdot (905 - 833) = 36 \text{ мм};$$

$$e = 0,5 (D_{cn} - D - S_s), \quad (71)$$

$$e_1 = 0,5 \cdot (429 - 400 - 10,998) = 9 \text{ мм.}$$

$$e_2 = 0,5 \cdot (833 - 800 - 13,86) = 9,57 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання з прокладкою становить $J = 1$.

Розрахунок навантажень, що діють у фланцевому з'єднанні

Рівнодіючу внутрішнього надлишкового тиску визначаємо за формулою:

$$Q_{\phi} = 0,785 D_{cn}^2 \cdot P, \quad (72)$$

$$Q_{\phi 1} = 0,785 \cdot 429^2 \cdot 1,035 = 0,15 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

$$Q_{\phi 2} = 0,785 \cdot 833^2 \cdot 1,035 = 0,56 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Реакцію прокладки в робочих умови обчислюємо за формулою (73), визначивши коефіцієнт питомого тиску на прокладку, $m = 2,5$:

$$R_n = \pi \cdot D_{cn} \cdot b_o \cdot m \cdot |P|, \quad (73)$$

$$R_{n1} = 3,14 \cdot 429 \cdot 7,25 \cdot 2,5 \cdot 1,035 = 2,52 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

$$R_{n2} = 3,14 \cdot 833 \cdot 9,5 \cdot 2,5 \cdot 1,035 = 6,43 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Коефіцієнти лінійного розширення матеріалу фланців і болтів визначаємо по [10]:

$$\alpha_{\phi} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C};$$

$$\alpha_{\delta} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}.$$

Модулі поздовжньої пружності матеріалів фланця і болта при розрахунковій температурі визначаємо за стандартом [8]:

$$E_{\phi} = 1,67 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

$$E_{\delta} = 1,67 \cdot 10^5 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт η_l визначаємо за формулою:

$$\eta_l = y_n + y_{\delta} \cdot \frac{E_{\delta}^{20}}{E_{\delta}} + 2y_{\phi} \cdot \frac{E_{\delta}^{20}}{E} \cdot b^2. \quad (74)$$

$$\eta_{11} = 0 + 10,322 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{1,67 \cdot 10^5} + 2 \cdot 5,5 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{1,67 \cdot 10^5} \cdot 33^2 = 1,56 \cdot 10^{-6}$$

$$\eta_{12} = 0 + 6,272 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{1,67 \cdot 10^5} + 2 \cdot 3,38 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{2 \cdot 10^5}{1,67 \cdot 10^5} \cdot 36^2 = 1,12 \cdot 10^{-6}$$

Навантаження Q_t , що виникає від температурних деформацій фланцевого з'єднання, визначаємо за формулою:

$$Q_t = \frac{1}{\eta_l} \cdot [2 \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - \alpha_{\delta} \cdot l_{\delta 0} \cdot (t_{\delta} - 20)], \quad (75)$$

$$Q_{t1} = \frac{1}{1,56 \cdot 10^{-6}} \cdot (2 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 35 \cdot (500 - 20) - 18 \cdot 10^{-6} \cdot 80 \cdot (485 - 20)) = 1,38 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

$$Q_{t2} = \frac{1}{1,12 \cdot 10^{-6}} \cdot (2 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 45 \cdot (500 - 20) - 18 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot (485 - 20)) = 2,4 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Болтове навантаження $P_{\delta 1}$ визначаємо за формулою (8.64), при цьому температурне навантаження не враховуємо, оскільки $Q_t > 0$:

$$P_{\delta 1} = J \cdot Q_{\delta} + R_n - Q_t. \quad (76)$$

$$P_{\delta 11} = 1 \cdot 0,15 \cdot 10^6 + 2,52 \cdot 10^4 - 0 = 0,175 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

$$P_{\delta 12} = 1 \cdot 0,56 \cdot 10^6 + 6,43 \cdot 10^4 - 0 = 0,624 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

Болтове навантаження $P_{\delta 2}$, необхідну для початкового зминання прокладки, визначаємо за формулою (77), прийнявши по [9] питомий тиск обтиску прокладки $q_{обж} = 20$ МПа.

$$P_{\delta 2} = 0,5 \pi \cdot D_{сн} \cdot b_0 \cdot q_{обж}. \quad (78)$$

$$P_{\delta 21} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 429 \cdot 7,25 \cdot 20 = 0,977 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

$$P_{\delta 22} = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 833 \cdot 9,5 \cdot 20 = 2,48 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Болтове навантаження $P_{\delta 3}$ з умови забезпечення міцності болтів визначаємо за формулою:

$$P_{\delta 3} = 0,4 [\sigma]_{\delta}^{20} \cdot n \cdot f_{\delta}, \quad (79)$$

$$P_{\delta 31} = 0,4 \cdot 184 \cdot 20 \cdot 225 = 0,331 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

$$P_{\delta 32} = 0,4 \cdot 184 \cdot 40 \cdot 225 = 0,662 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Болтове навантаження в умовах монтажу P_{δ} визначаємо за формулою:

$$P_{\delta} = \max \{ P_{\delta 1}; P_{\delta 2}; P_{\delta 3} \}, \quad (80)$$

$$P_{\delta 1} = \{ 0,175 \cdot 10^6; 0,977 \cdot 10^5; 0,331 \cdot 10^6 \} = 0,331 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

$$P_{\delta 2} = \{ 0,624 \cdot 10^6; 0,248 \cdot 10^6; 0,662 \cdot 10^6 \} = 0,662 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Розрахунок болтів

Умова міцності болтів в умовах монтажу:

$$\sigma_{\delta 1} = \frac{P_{\delta}}{n \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma]_{\delta}^{20}; \quad (81)$$

$$\sigma_{\delta 11} = \frac{0,331 \cdot 10^6}{20 \cdot 225} = 73,56 < [\sigma]_{\delta}^{20} = 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\delta 12} = \frac{0,662 \cdot 10^6}{40 \cdot 225} = 73,55 < [\sigma]_{\delta}^{20} = 184 \text{ МПа}$$

виконується.

Прирощення болтового навантаження ΔP_{δ} визначаємо за формулою:

$$\Delta P_{\delta} = (1 - J) \cdot Q_{\text{д}} + Q_{\text{т}}. \quad (82)$$

$$\Delta P_{\delta 1} = (1 - 1) \cdot 0,15 \cdot 10^6 + 1,38 \cdot 10^4 = 1,38 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

$$\Delta P_{\delta 2} = (1 - 1) \cdot 0,56 \cdot 10^6 + 2,4 \cdot 10^5 = 2,4 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Умова міцності болтів в робочих умовах:

$$\sigma_{\delta 2} = \frac{P_{\delta 1} + \Delta P_{\delta}}{n \cdot f_{\delta}} \leq [\sigma]_{\delta}, \quad (83)$$

$$\sigma_{\delta 21} = \frac{0,331 \cdot 10^6 + 1,38 \cdot 10^4}{20 \cdot 225} = 76,62 \text{ МПа} < [\sigma]_{\delta} = 127 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\delta 22} = \frac{0,662 \cdot 10^6 + 2,4 \cdot 10^5}{40 \cdot 225} = 100,22 \text{ МПа} < [\sigma]_{\delta} = 127 \text{ МПа}$$

виконується.

Розрахунок фланця на міцність

Згинальний момент від болтового навантаження обчислюємо за формулою:

$$M_{01} = P_{\delta} \cdot b. \quad (84)$$

$$M_{011} = 0,331 \cdot 10^6 \cdot 33 = 1,092 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

$$M_{012} = 0,662 \cdot 10^6 \cdot 36 = 2,38 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Кут повороту фланця при затягуванні з'єднання обчислюємо за формулою:

$$\Theta = M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9) \cdot \lambda] \cdot \psi_2}{E^{20} \cdot h^3}, \quad (85)$$

$$\Theta_1 = 1,092 \cdot 10^7 \cdot \frac{[1 - 0,193 \cdot (1 + 0,9) \cdot 0,714] \cdot 6,926}{2 \cdot 10^5 \cdot 35^3} = 6,51 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$$

$$\Theta_2 = 2,38 \cdot 10^7 \cdot \frac{[1 - 0,33 \cdot (1 + 0,9) \cdot 0,53] \cdot 12,03}{2 \cdot 10^5 \cdot 45^3} = 10,49 \cdot 10^{-3} \text{ рад}$$

Прирощення згинального моменту від болтового навантаження ΔM_{01} визначаємо за формулою:

$$\Delta M_{01} = \Delta P_{\delta} \cdot b + Q_{\delta} \cdot e. \quad (86)$$

$$\Delta M_{011} = 1,38 \cdot 10^4 \cdot 33 + 0,15 \cdot 10^6 \cdot 9 = 1,81 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

$$\Delta M_{012} = 2,4 \cdot 10^5 \cdot 36 + 0,56 \cdot 10^6 \cdot 9,57 = 14 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Прирошення кута повороту фланця в робочих умовах обчислюємо за формулою:

$$\Delta \Theta = \Delta M_{01} \cdot \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9) \cdot \lambda] \cdot \psi_2}{E \cdot h^3}, \quad (87)$$

$$\Delta \Theta_1 = 1,81 \cdot 10^6 \cdot \frac{[1 - 0,193 \cdot (1 + 0,9) \cdot 0,714] \cdot 6,926}{1,67 \cdot 10^5 \cdot 35^3} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ рад}.$$

$$\Delta \Theta_2 = 14 \cdot 10^6 \cdot \frac{[1 - 0,333 \cdot (1 + 0,9) \cdot 0,53] \cdot 12,03}{1,67 \cdot 10^5 \cdot 45^3} = 7,36 \cdot 10^{-3} \text{ рад}.$$

Коефіцієнт f визначаємо по [10] при $\beta_1 = S_{11}/S_{01} = 18/3 = 3$,
 $\beta_2 = S_{12}/S_{02} = 23/9 = 2,56$ та $l_1/\sqrt{D_1 \cdot S_{01}} = 35/\sqrt{400 \cdot 6} = 0,715$,
 $l_2/\sqrt{D_2 \cdot S_{02}} = 45/\sqrt{800 \cdot 9} = 0,53$ $f_1 = 1,75$, $f_2 = 1,7$

Розрахунковий діаметр D^* визначаємо за формулою:

$$D^* = D + S_1 \quad (88)$$

$$D_1^* = 400 + 18 = 418 \text{ мм}.$$

$$D_2^* = 800 + 23 = 823 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт T визначаємо за формулою:

$$T = \frac{\left(\frac{D_H}{D}\right)^2 \cdot \left[1 + 8,55 \lg\left(\frac{D_H}{D}\right)\right] - 1}{\left[1,05 + 1,945 \left(\frac{D_H}{D}\right)^2\right] \cdot \left[\left(\frac{D_H}{D}\right) - 1\right]}. \quad (89)$$

$$T_1 = \frac{\left(\frac{429}{400}\right)^2 \cdot \left[1 + 8,55 \cdot \lg\left(\frac{429}{400}\right)\right] - 1}{\left[1,05 + 1,945 \cdot \left(\frac{429}{400}\right)^2\right] \cdot \left[\left(\frac{429}{400}\right) - 1\right]} = 1,89.$$

$$T_2 = \frac{\left(\frac{833}{800}\right)^2 \cdot \left[1 + 8,55 \cdot \lg\left(\frac{833}{800}\right)\right] - 1}{\left[1,05 + 1,945 \cdot \left(\frac{833}{800}\right)^2\right] \cdot \left[\left(\frac{833}{800}\right) - 1\right]} = 1,9.$$

Максимальне напруження згинання σ'_u в перетині товщиною S_1 визначаємо за формулою:

$$\sigma'_u = \frac{T \cdot \omega \cdot M_{01}}{D^* \cdot (S_1 - C_1)^2}, \quad (90)$$

$$\sigma'_{u1} = \frac{1,89 \cdot 0,193 \cdot 1,81 \cdot 10^6}{418 \cdot (18 - 2)^2} = 6,17 \text{ МПа.}$$

$$\sigma'_{u2} = \frac{1,9 \cdot 0,333 \cdot 14 \cdot 10^6}{823 \cdot (23 - 2)^2} = 24,4 \text{ МПа.}$$

Меридіональні напруги в перетині S_1 конічної втулки фланця при зтягуванні фланцевого з'єднання складають:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{111} = \sigma'_{u1} = 6,17 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{112} = \sigma'_{u2} = 24,4 \text{ МПа;}$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\sigma_{121} = -\sigma'_{u2} = -6,17 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{122} = -\sigma'_{u2} = -24,4 \text{ МПа.}$$

Меридіональні напруги в перетині S_0 конічної втулки фланця при зтягуванні фланцевого з'єднання складають:

– на зовнішній поверхні втулки

$$\sigma_{211} = f \cdot \sigma'_{u1} = 1,75 \cdot 6,17 = 10,8 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{212} = f \cdot \sigma'_{u2} = 1,7 \cdot 24,4 = 41,5 \text{ МПа;}$$

– на внутрішній поверхні втулки

$$\sigma_{221} = -f \cdot \sigma'_{u1} = -1,75 \cdot 6,17 = -10,8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{222} = -f \cdot \sigma'_{u2} = -1,7 \cdot 24,4 = -41,5 \text{ МПа.}$$

Прирощення напруги, що виникає в меридіональному напрямку в перерізі S_1 конічної втулки фланця від дії зовнішніх навантажень в робочих умовах визначаємо

за формулою:

$$\Delta\sigma'_m = \frac{Q_0 + 4M/D_{cn} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_1 - C)}; \quad (91)$$

$$\Delta\sigma'_{m1} = \frac{0,15 \cdot 10^6 + 4 \cdot 0/429 + 0}{3,14 \cdot 400 \cdot (18 - 2)} = 7,46 \text{ МПа.}$$

$$\Delta\sigma'_{m2} = \frac{0,56 \cdot 10^6 + 4 \cdot 0/833 + 0}{3,14 \cdot 800 \cdot (23 - 2)} = 10,62 \text{ МПа.}$$

Прирощення напруги, що виникає в меридіональному напрямку в перерізі конічної втулки товщиною S_1 від зміни згинального моменту в робочих умовах, визначаємо за формулами:

$$\Delta\sigma'_u = \frac{T \cdot \omega \cdot \Delta M_{01}}{D^* \cdot (S_1 - C)^2}. \quad (92)$$

$$\Delta\sigma'_{u1} = \frac{1,89 \cdot 0,193 \cdot 1,81 \cdot 10^6}{418 \cdot (18 - 2)^2} = 6,17 \text{ МПа.}$$

$$\Delta\sigma'_{u2} = \frac{1,9 \cdot 0,333 \cdot 14 \cdot 10^6}{823 \cdot (23 - 2)^2} = 24,4 \text{ МПа.}$$

Прирощення меридіональних напружень в робочих умовах в перерізі S_1 конічної втулки фланця складають:

– на зовнішній поверхні втулки за формулою:

$$\Delta\sigma_{11} = \Delta\sigma'_m + \Delta\sigma'_u; \quad (93)$$

$$\Delta\sigma_{11} = 7,46 + 6,17 = 13,63 \text{ МПа;}$$

$$\Delta\sigma_{12} = 10,6 + 24,4 = 35 \text{ МПа;}$$

– на внутрішній поверхні втулки за формулою:

$$\Delta\sigma_{12} = \Delta\sigma'_m - \Delta\sigma'_u, \quad (94)$$

$$\Delta\sigma_{121} = 7,46 - 6,17 = 1,29 \text{ МПа.}$$

$$\Delta\sigma_{122} = 10,6 - 24,4 = -13,8 \text{ МПа.}$$

Прирощення напруги, що виникає в меридіональному напрямку в перерізі S_0 конічної втулки фланця від дії зовнішніх навантажень в робочих умовах, визначаємо за формулою:

$$\Delta\sigma''_m = \frac{Q_0 + 4M/D_{cn} + F}{\pi \cdot D \cdot (S_0 - C)}. \quad (95)$$

$$\Delta\sigma''_{m1} = \frac{0,15 \cdot 10^6 + 4 \cdot 0/429 + 0}{3,14 \cdot 400 \cdot (6 - 2)} = 29,86 \text{ МПа.}$$

$$\Delta\sigma''_{m2} = \frac{0,56 \cdot 10^6 + 4 \cdot 0/833 + 0}{3,14 \cdot 800 \cdot (9 - 2)} = 31,84 \text{ МПа.}$$

Прирошення меридіональних напружень в робочих умовах в перерізі S_0 конічної втулки фланця визначаємо:

– на зовнішній поверхні втулки за формулою:

$$\Delta\sigma_{21} = \Delta\sigma''_m + f \cdot \Delta\sigma'_u; \quad (96)$$

$$\Delta\sigma_{211} = 29,86 + 1,75 \cdot 6,17 = 40,66 \text{ МПа;}$$

$$\Delta\sigma_{212} = 31,84 + 1,7 \cdot 24,4 = 73,32 \text{ МПа;}$$

– на внутрішній поверхні втулки за формулою:

$$\Delta\sigma_{22} = \Delta\sigma''_m - f \cdot \Delta\sigma'_u, \quad (97)$$

$$\Delta\sigma_{221} = 29,86 - 1,75 \cdot 6,17 = 19,06 \text{ МПа.}$$

$$\Delta\sigma_{222} = 31,84 - 1,7 \cdot 24,4 = -9,64 \text{ МПа.}$$

Окружні напруження в перетині S_1 конічної втулки фланця при затягуванні з'єднання визначаємо:

– на зовнішній поверхні втулки за формулою:

$$\sigma_{13} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \Theta}{D} + 0,3 \sigma'_u; \quad (98)$$

$$\sigma_{131} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 35 \cdot 6,51 \cdot 10^{-3}}{400} + 0,3 \cdot 6,17 = 133,8 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{132} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 45 \cdot 10,49 \cdot 10^{-3}}{800} + 0,3 \cdot 24,4 = 125,32 \text{ МПа;}$$

– на внутрішній поверхні втулки за формулою:

$$\sigma_{14} = \frac{E^{20} \cdot h \cdot \Theta}{D} - 0,3 \sigma'_u. \quad (99)$$

$$\sigma_{141} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 35 \cdot 6,51 \cdot 10^{-3}}{400} - 0,3 \cdot 6,17 = 130,1 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{142} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 45 \cdot 10,49 \cdot 10^{-3}}{800} - 0,3 \cdot 24,4 = 110,68 \text{ МПа.}$$

Окружні напруження в перетині S_0 конічної втулки фланця при з'ятуванні з'єднання визначаємо:

– на зовнішній поверхні втулки за формулою:

$$\sigma_{23} = 0,3 f \cdot \sigma'_u; \quad (100)$$

$$\sigma_{231} = 0,3 \cdot 1,75 \cdot 6,17 = 3,24 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{232} = 0,3 \cdot 1,7 \cdot 24,4 = 12,44 \text{ МПа,}$$

– на внутрішній поверхні втулки за формулою:

$$\sigma_{24} = -0,3 f \cdot \sigma'_u. \quad (101)$$

$$\sigma_{241} = -0,3 \cdot 1,75 \cdot 6,17 = -3,24 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{242} = -0,3 \cdot 1,7 \cdot 24,4 = -12,44 \text{ МПа.}$$

Прирошення окружних напружень в перерізі S_1 конічної втулки фланця в робочих умовах визначаємо:

– на зовнішній поверхні втулки за формулою:

$$\Delta\sigma_{13} = \frac{E \cdot h \cdot \Delta\Theta}{D} + \frac{P \cdot D}{D_n - D} + 0,3 \Delta\sigma'_u; \quad (102)$$

$$\Delta\sigma_{131} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 35 \cdot 1,29 \cdot 10^{-3}}{400} + \frac{1,035 \cdot 400}{429 - 400} + 0,3 \cdot 6,17 = 38,88 \text{ МПа;}$$

$$\Delta\sigma_{132} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 45 \cdot 7,36 \cdot 10^{-3}}{800} + \frac{1,035 \cdot 800}{833 - 800} + 0,3 \cdot 24,4 = 115,22 \text{ МПа;}$$

– внутрішній поверхні втулки за формулою:

$$\Delta\sigma_{14} = \frac{E \cdot h \cdot \Delta\Theta}{D} + \frac{P \cdot D}{D_n - D} - 0,3 \Delta\sigma'_u. \quad (103)$$

$$\Delta\sigma_{141} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 35 \cdot 1,29 \cdot 10^{-3}}{400} + \frac{1,035 \cdot 400}{429 - 400} - 0,3 \cdot 6,17 = 35,18 \text{ МПа.}$$

$$\Delta\sigma_{142} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 45 \cdot 7,36 \cdot 10^{-3}}{800} + \frac{1,035 \cdot 800}{833 - 800} - 0,3 \cdot 24,4 = 100,58 \text{ МПа.}$$

Прирошення окружних напружень в перерізі S_0 конічної втулки фланця в робочих умовах обчислюємо:

– на зовнішній поверхні втулки за формулою:

$$\Delta\sigma_{23} = \frac{P \cdot D}{2(S_0 - C)} + 0,3 f \cdot \Delta\sigma'_u; \quad (104)$$

$$\Delta\sigma_{231} = \frac{1,035 \cdot 400}{2 \cdot (6 - 2)} + 0,3 \cdot 6,17 = 53,621 \text{ МПа,}$$

$$\Delta\sigma_{232} = \frac{1,035 \cdot 800}{2 \cdot (9 - 2)} + 0,3 \cdot 24,4 = 66,46 \text{ МПа,}$$

– внутрішній поверхні втулки за формулою:

$$\Delta\sigma_{24} = \frac{P \cdot D}{2(S_0 - C)} - 0,3 f \cdot \Delta\sigma'_u. \quad (105)$$

$$\Delta\sigma_{241} = \frac{1,035 \cdot 400}{2(6 - 2)} - 0,3 \cdot 6,17 = 49,88 \text{ МПа.}$$

$$\Delta\sigma_{242} = \frac{1,035 \cdot 800}{2(9 - 2)} - 0,3 \cdot 24,4 = 51,8 \text{ МПа.}$$

Меридіональні і окружні напруження в перетині S_1 конічної втулки фланця в робочих умовах за формулами (106)–(111) складають:

$$[\sigma]_{11}^p = \sigma_{11} + \Delta\sigma_{11}; \quad (106)$$

$$[\sigma]_{111}^p = 6,17 + 13,63 = 19,8 \text{ МПа;}$$

$$[\sigma]_{112}^p = 24,4 + 35 = 59,4 \text{ МПа;}$$

$$[\sigma]_{12}^p = \sigma_{12} + \Delta\sigma_{12}; \quad (107)$$

$$[\sigma]_{121}^p = -6,17 + 1,29 = -4,88 \text{ МПа;}$$

$$[\sigma]_{122}^p = -24,4 + (-13,8) = -38,2 \text{ МПа;}$$

$$[\sigma]_{13}^p = \sigma_{13} + \Delta\sigma_{13}; \quad (108)$$

$$[\sigma]_{131}^p = 133,8 + 38,88 = 172,68 \text{ МПа;}$$

$$[\sigma]_{132}^p = 125,32 + 115,22 = 240,54 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{14}^p = \sigma_{14} + \Delta\sigma_{14}. \quad (109)$$

$$[\sigma]_{141}^p = 13,01 + 35,18 = 48,19 \text{ МПа.}$$

$$[\sigma]_{142}^p = 110,68 + 100,58 = 211,26 \text{ МПа.}$$

Умови статичної міцності фланця в перерізі S_1 , що визначаються:

– при затягуванні з'єднання за формулою:

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{13}^2 - \sigma_{11} \cdot \sigma_{13}}}{\sqrt{\sigma_{12}^2 + \sigma_{14}^2 - \sigma_{12} \cdot \sigma_{14}}} \right\} \leq [\sigma]_{S1}^{20}; \quad (110)$$

$$\sigma_{S11} = \max \left\{ \frac{\sqrt{6,17^2 + 133,8^2 - 6,17 \cdot 133,8}}{\sqrt{(-6,17)^2 + 13,01^2 - (-6,17) \cdot (13,01)}} \right\} = 130,8 \text{ МПа} < [\sigma]_{S1}^{20} = 276 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{S12} = \max \left\{ \frac{\sqrt{24,4^2 + 125,32^2 - 24,4 \cdot 125,32}}{\sqrt{(-24,4)^2 + 110,68^2 - (-24,4) \cdot (110,68)}} \right\} = 124,68 \text{ МПа} < [\sigma]_{S1}^{20} = 276 \text{ МПа}$$

– в робочих умовах за формулою:

$$\sigma_{S1} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{11}^p)^2 + (\sigma_{13}^p)^2 - \sigma_{11}^p \cdot \sigma_{13}^p}}{\sqrt{(\sigma_{12}^p)^2 + (\sigma_{14}^p)^2 - \sigma_{12}^p \cdot \sigma_{14}^p}} \right\} \leq [\sigma]_{S1}, \quad (111)$$

$$\sigma_{S11} = \max \left\{ \frac{\sqrt{19,8^2 + 172,68^2 - 19,8 \cdot 172,68}}{\sqrt{(-4,88)^2 + (48,19)^2 - (-4,88) \cdot (48,19)}} \right\} = 163,3 \text{ МПа} < [\sigma]_{S1}^e = 368 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{S12} = \max \left\{ \frac{\sqrt{59,4^2 + 240,54^2 - 59,4 \cdot 240,26}}{\sqrt{(-38,2)^2 + (211,26)^2 - (-38,2) \cdot (211,26)}} \right\} = 232,7 \text{ МПа} < [\sigma]_{S1}^e = 368 \text{ МПа}$$

виконуються.

Меридіональні і окружні напруження в перетині товщиною S_0 конічної втулки фланця в робочих умовах визначаємо за формулами (112)–(115):

$$[\sigma]_{21}^p = \sigma_{21} + \Delta\sigma_{21}; \quad (112)$$

$$[\sigma]_{211}^p = 6,17 + 40,66 = 46,83 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{212}^p = 24,4 + 73,32 = 97,72 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{22}^p = \sigma_{22} + \Delta\sigma_{22}; \quad (113)$$

$$[\sigma]_{221}^p = -10,8 + 19,06 = 8,26 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{222}^p = -41,5 + (-9,64) = -51,14 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{23}^p = \sigma_{23} + \Delta\sigma_{23}; \quad (114)$$

$$[\sigma]_{231}^p = 3,24 + 53,621 = 56,861 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{232}^p = 12,44 + 66,4 = 78,84 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{24}^p = \sigma_{24} + \Delta\sigma_{24}. \quad (115)$$

$$[\sigma]_{241}^p = -3,24 + 49,88 = 46,64 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_{242}^p = -12,44 + 51,8 = 39,36 \text{ МПа}.$$

Умови статичної міцності приварних встик фланців в перерізі s_0 :

– при затягуванні з'єднання:

$$\sigma_{s_0} = \max \left\{ \frac{\sqrt{\sigma_{21}^2 + \sigma_{23}^2 - \sigma_{21} \cdot \sigma_{23}}}{\sqrt{\sigma_{22}^2 + \sigma_{24}^2 - \sigma_{22} \cdot \sigma_{24}}} \right\} \leq [\sigma]_{s_0}^{20}; \quad (116)$$

$$\sigma_{s_{01}} = \max \left\{ \frac{\sqrt{6,17^2 + 3,24^2 - 6,17 \cdot 3,24}}{\sqrt{(-6,17)^2 + (-3,24)^2 - (-6,17) \cdot (-3,24)}} \right\} = 5,34 \text{ МПа} < [\sigma]_{s_0}^{20} = 276 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{s_{02}} = \max \left\{ \frac{\sqrt{24,4^2 + 12,44^2 - 24,4 \cdot 12,44}}{\sqrt{(-24,4)^2 + (-12,44)^2 - (-24,4) \cdot (-12,44)}} \right\} = 21,13 \text{ МПа} < [\sigma]_{s_0}^{20} = 276 \text{ МПа}$$

– в робочих умовах:

$$\sigma_{s_0} = \max \left\{ \frac{\sqrt{(\sigma_{21}^p)^2 + (\sigma_{23}^p)^2 - \sigma_{21}^p \cdot \sigma_{23}^p}}{\sqrt{(\sigma_{22}^p)^2 + (\sigma_{24}^p)^2 - \sigma_{22}^p \cdot \sigma_{24}^p}} \right\} \leq [\sigma]_{s_0}, \quad (117)$$

$$\sigma_{s_{01}} = \max \left\{ \frac{\sqrt{46,83^2 + 56,861^2 - 46,83 \cdot 56,861}}{\sqrt{(8,26)^2 + 46,64^2 - (8,26) \cdot 46,64}} \right\} = 52,6 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{s_0} = 190 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{s_{02}} = \max \left\{ \frac{\sqrt{97,72^2 + 78,84^2 - 97,72 \cdot 78,84}}{\sqrt{(-51,14)^2 + 39,36^2 - (-51,14) \cdot 39,36}} \right\} = 84,7 \text{ МПа} \leq [\sigma]_{s_0} = 190 \text{ МПа}$$

ВИКОНУЮТЬСЯ.

Допустимий кут повороту по [9] для приварних встик фланців в робочих умовах при діаметрі $D \leq 2000$ мм становить $[\Theta] = 0,009$ рад.

Умова жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\Theta + \Delta\Theta \leq [\Theta], \quad (116)$$

$$\Theta_1 + \Delta\Theta_1 = 6,51 \cdot 10^{-3} + 1,29 \cdot 10^{-3} = 7,8 \cdot 10^{-3} < [\Theta] = 0,009 \text{ рад}$$

$$\Theta_2 + \Delta\Theta_2 = 7,57 \cdot 10^{-3} + 1,39 \cdot 10^{-3} = 8,9 \cdot 10^{-3} < [\Theta] = 0,009 \text{ рад}$$

виконується.

Розрахунок фланцевого з'єднання на малоциклічну втому

По [9], при відношенні $r/S_1 = 7/15 = 0,467$ визначаємо коефіцієнт $a_\sigma = 1,5$.

Головні напруження для фланців приварних встик визначаємо за формулами (117)–(120):

$$\sigma_1 = \alpha_\sigma \cdot \sigma_{11}; \quad (117)$$

$$\sigma_{11} = 1,5 \cdot 6,17 = 9,22 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{12} = 1,5 \cdot 24,4 = 36,6 \text{ МПа};$$

$$\sigma_2 = \max \{ |\sigma_{21}|; |\sigma_{23}|; |\sigma_{21} - \sigma_{23}| \}; \quad (118)$$

$$\sigma_{21} = \max \{ |10,8|; |3,24|; |7,56| \} = 10,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{22} = \max \{ |41,5|; |12,44|; |29,06| \} = 41,5 \text{ МПа};$$

$$\sigma_3 = \max \{ |\sigma_{22}|; |\sigma_{24}|; |\sigma_{22} - \sigma_{24}| \}, \quad (119)$$

$$\sigma_{31} = 41,5 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{32} = 41,5 \text{ МПа.}$$

Розрахункову амплітуду наведених умовних пружних напружень при зтягуванні фланцевого з'єднання визначаємо за формулою:

$$\sigma_a = 0,5 \max \{ \sigma_1; \sigma_2; \sigma_3 \}, \quad (120)$$

$$\sigma_{a1} = 0,5 \max \{ 9,22; 10,8; 10,8 \} = 5,4 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{a2} = 0,5 \max \{ 36,6; 41,5; 41,5 \} = 20,75 \text{ МПа.}$$

Прирошення напружень для фланців приварних встик визначаємо за формулами (11.111)–(11.113):

$$\Delta\sigma_1 = \alpha_\sigma \cdot \Delta\sigma_{11}; \quad (121)$$

$$\Delta\sigma_{11} = 1,5 \cdot 13,63 = 20,445 \text{ МПа};$$

$$\Delta\sigma_{12} = 1,5 \cdot 35 = 52,5 \text{ МПа};$$

$$\Delta\sigma_2 = \max \{ |\Delta\sigma_{21}|; |\Delta\sigma_{23}|; |\Delta\sigma_{21} - \Delta\sigma_{23}| \}; \quad (122)$$

$$\Delta\sigma_{21} = 40,66 \text{ МПа};$$

$$\Delta\sigma_{22} = 73,32 \text{ МПа};$$

$$\Delta\sigma_3 = \max \{ |\Delta\sigma_{32}|; |\Delta\sigma_{34}|; |\Delta\sigma_{32} - \Delta\sigma_{34}| \}, \quad (123)$$

$$\Delta\sigma_{31} = 49,88 \text{ МПа}.$$

$$\Delta\sigma_{32} = 51,8 \text{ МПа}.$$

Розрахункову амплітуду наведених умовних пружних напружень в робочих умовах визначаємо за формулою:

$$\sigma_a^p = 0,5 \max \{ \Delta\sigma_1; \Delta\sigma_2; \Delta\sigma_3 \}. \quad (124)$$

$$\sigma_{a1}^p = 0,5 \max \{ 20,445; 40,66; 49,88 \} = 24,94 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{a2}^p = 0,5 \max \{ 52,5; 73,32; 51,8 \} = 36,66 \text{ МПа}.$$

Характеристики матеріалу А для аустенітної сталі марки 12Х18Н10Т визначаємо по [9], $A = 0,6 \cdot 10^5$ МПа. $B = 270$ МПа.

Коефіцієнт запасу міцності по числу циклів навантаження становить $n_N = 10$; коефіцієнт запасу міцності по напруженнях $n_\sigma = 2$.

Умовну амплітуду напружень при зтягуванні фланцевого з'єднання визначаємо за формулою:

$$\bar{\sigma}_a = \max \left\{ \sigma_a; \frac{B}{n_\sigma} \right\}. \quad (125)$$

$$\bar{\sigma}_{a1} = \max \left\{ 24,94; \frac{270}{2} \right\} = 135 \text{ МПа}$$

$$\bar{\sigma}_{a2} = \max \left\{ 20,75; \frac{270}{2} \right\} = 135 \text{ МПа}$$

Кількість збірок фланцевого з'єднання за весь термін служби приймаємо $N_c = 1,5 \cdot 10^3$, кількість циклів зміни режимів експлуатації – $N_p = 2 \cdot 10^3$.

Допустима кількість збірок фланцевого з'єднання визначаємо при температурі збірки $t_c = 20^\circ\text{C}$ за формулою:

$$[N]_c = \frac{1}{n_N} \cdot \left(\frac{A}{\bar{\sigma}_a - \frac{B}{n_\sigma}} \cdot \frac{2300 - t}{2300} \right)^2, \quad (126)$$

$$[N]_{c1} = [N]_{c2} = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 10^5}{135 - \frac{270}{2}} \cdot \frac{2300 - 20}{2300} \right)^2 = \infty.$$

Умовну амплітуду напружень для робочих умов визначаємо за формулою:

$$\bar{\sigma}_a^p = \max \left\{ \sigma_a^p; \frac{B}{n_\sigma} \right\}. \quad (127)$$

$$\bar{\sigma}_{a1}^p = \max \left\{ 24,94; \frac{270}{2} \right\} = 135 \text{ МПа};$$

$$\bar{\sigma}_{a2}^p = \max \left\{ 36,6; \frac{270}{2} \right\} = 135 \text{ МПа};$$

Допустиме число циклів зміни режиму експлуатації визначаємо при розрахунковій температурі за формулою:

$$[N]_p = \frac{1}{n_N} \cdot \left(\frac{A}{\bar{\sigma}_a^p - \frac{B}{n_\sigma}} \cdot \frac{2300 - t}{2300} \right)^2, \quad (128)$$

$$[N]_{p1} = [N]_{p2} = \frac{1}{10} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 10^5}{135 - \frac{270}{2}} \cdot \frac{2300 - 115}{2300} \right)^2 = \infty$$

Умова міцності для заданої кількості циклів навантажень:

$$\frac{N_c}{[N]_c} + \frac{N_p}{[N]_p} \leq 1, \quad (129)$$

$$\frac{N_c}{[N]_{c1}} + \frac{N_p}{[N]_{p1}} = \frac{N_c}{[N]_{c2}} + \frac{N_p}{[N]_{p2}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{\infty} + \frac{2 \cdot 10^3}{\infty} = 0 \leq 1$$

виконується.

6.6 Розрахунок опорних вузлів та стропових пристроїв

Вибираю зварні опорні лапи для вертикального апарату, встановленого в отворі перекриття. Кількість опорних лап – 4. Маса апарату, в робочих умовах $m = 1120$ кг, в умовах випробування $m_1 = 621$ кг [11].

Визначаю вага апарату:

- в робочих умовах

$$G = m \cdot g, \quad (130)$$

- в умовах випробування

$$G_1 = m_1 \cdot g, \quad (131)$$

де g - прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с².

$$G = 1120 \cdot 9,81 = 10987,2 \text{ Н}$$

$$G_1 = 620 \cdot 9,81 = 6082,2 \text{ Н.}$$

Зусилля, що діє на опорну лапу при забезпеченні рівномірного розподілу навантаження між усіма опорними лапами, визначаємо за формулою:

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{D + 2(e_1 + S + S_2)}, \quad (132)$$

де M – згинальний момент, який діє на обичайку в розрізі, де розташовані опорні лапи.

Для апарату, встановленого в приміщенні на перекритті, згинальний момент $M = 0$. Формула приймає вигляд

$$F_1 = \frac{G}{4}. \quad (133)$$

- в робочих умовах

$$F = \frac{10987,2}{4} = 2746,8 \text{ Н}$$

- в умовах випробування

$$F_1 = \frac{6082,2}{4} = 1520,55 \text{ Н.}$$

По [11] приймаємо зварні лапи з найближчим більшим значенням навантаження, яка допускається, на опорну лапу.

Умовне позначення лапи:

Лапа опорная 2-6300 ГОСТ 26296-84.

6.7 Конструкція і загальний вид пілотної моделі апарату

Конструкція і загальний вид пілотної моделі апарату аерозольного каталізу з використанням псевдозрідження з імпульсною подачею зріджуючого агенту наведена на рис. 6

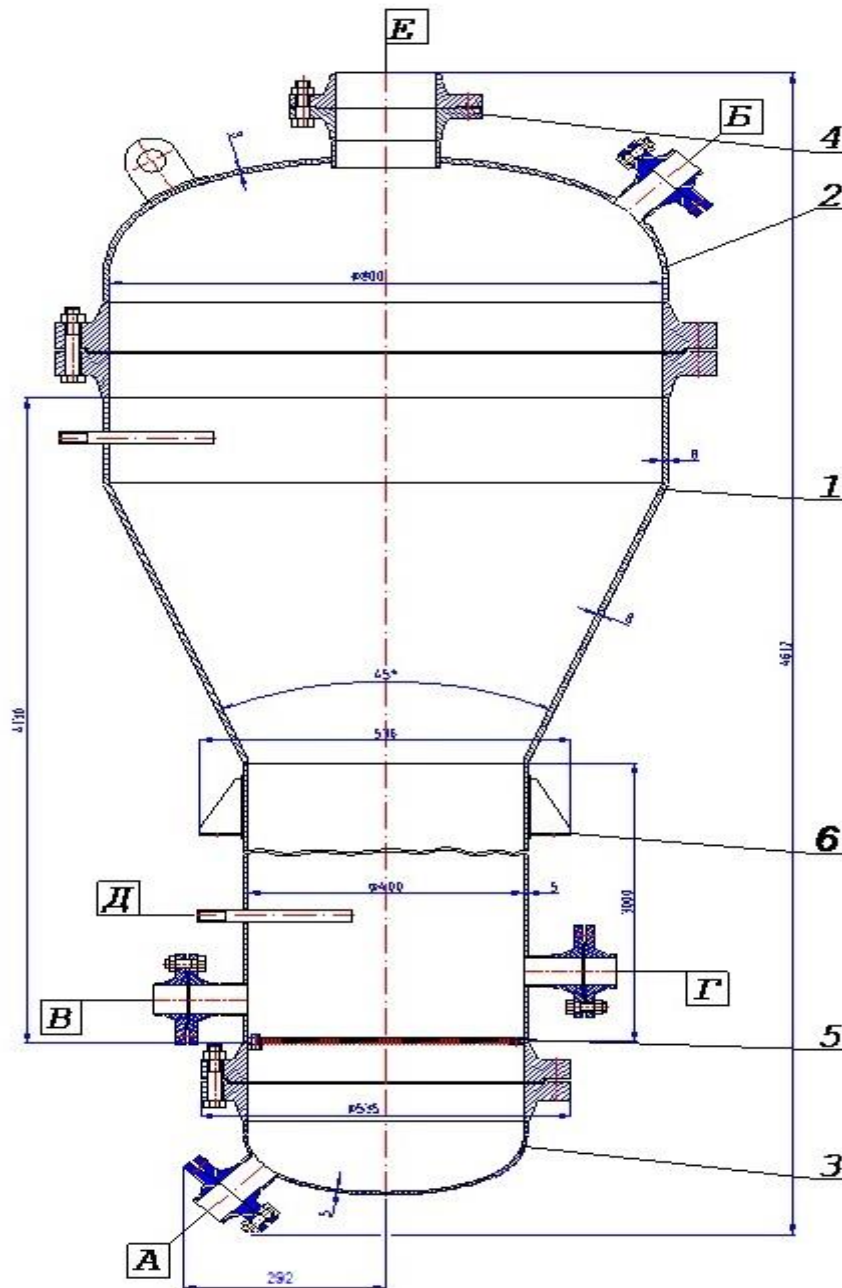


Рисунок 6 – Схема пілотної моделі

Пілотна модель представляє собою колону, яка складається з корпусу (1), еліптичної кришки (2) та еліптичного днища (3). Корпус, в свою чергу, складається з циліндричної обичайки діаметром 400 мм і висотою 3 м, конічного переходу висотою 1 м та циліндричної обичайки діаметром 800 мм і висотою 0,15 м.

На днищі під кутом 45° до осі апарату розміщені два штуцера А та Б номінальним діаметром 50 мм. Перший (А) для вводу зріджуючого агенту з постійною подачею, а другий (Б) – з імпульсною подачею.

Штуцери для вводу каталізатора (В) та оцтової кислоти (Г), номінальним діаметром 50 мм, розміщені на циліндричній обичайці діаметром 400 мм.

На еліптичній кришці розміщений штуцер номінальним діаметром 150 мм для виводу газу та каталізатора з апарату.

7 Техніка безпеки та охорона праці на виробництві

Охорона праці — це система правил і заходів, які забезпечують безпечну роботу на даному виробництві. При роботі на металорізальному верстаті необхідно передбачити ряд вимог, які б дозволили працівнику виконувати поставлене перед ним завдання в умовах, які передбаченні конструкторськими документами.

Основними заходами, які зменшують або попереджають травматизм при роботі на дільниці є автоматизація або механізація технологічного процесу.

Крім цього на верстатах встановлюють захисні кожухи на вузлах, які передбачають крутні моменти. Всі захисні кожухи з внутрішнього боку, фарбуються в жовтий колір (сигнальний), а ззовні, наноситься знак безпеки за ГОСТ 12.4.025-86 (рівнобічний трикутник жовтого кольору з вершиною доверху, в чорній рамці і знаком оклику посередині). Під знаком встановлено таблицю з написом «При ввімкненому верстаті не відкривати».

Для орієнтовної оцінки шуму приймають показник, який називається «рівнем шуму» і вимірюється за шкалою «А» шумоміра. Допустимий рівень шуму в приміщеннях, в тому числі і цехах холодної обробки по СН 245-79 становить 71-90 Дб.

Основними заходами, які захищають працівників від шкідливих дій шуму і вібрацій, є установка верстата на віброопори.

Правильне визначення площі дільниці, визначає правильну організацію робочого місця згідно з науковою організацією праці. Завдяки цьому, зменшується утома робітників і знижується ймовірність травматизму.

Кожне робоче місце обладнане інструментальною тумбочкою і дерев'яною підставкою, а для видалення стружки з верстата, застосовують

спеціальні вмонтовані у верстат шнекові і магнітні транспортери, а на свердлильних верстатах — спеціальні гачки і щітки.

В цеху застосовується комбіноване освітлення. Освітленість на підлозі при загальному освітленні, повинна бути не менше 150 лк для ламп розжарення (з 2010-х років, повсюдно замінюються на світлодіодні лампи та світильники) та не менше 150 лк для люмінесцентних ламп, незалежно від місцевого освітлення.

Як лікувально-профілактичні заходи передбачено попередній та поточний (не рідше одного разу на рік) медогляди працівників цеху, заборону допуску до вібраційних робіт осіб, молодших 18 років та таких, що мають відповідні проти покази в стані здоров'я, лікувальну гімнастику та масаж рук.

Складовою частиною системи управління безпеки праці є інструктажі з питань охорони праці та техніки безпеки. Працівники, під час прийняття на роботу та періодично, повинні проходити інструктажі з питань техніки безпеки. Інструктажі проводить відповідальний спеціаліст, який відповідає на цьому підприємстві за охорону праці та техніку безпеки, який має спеціальну освіту або який в установленому Типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Інструктажі поділяються на

- вступний;
- первинний;
- повторний;
- позаплановий;
- цільовий.

Насамперед техніка безпеки забезпечується, підготовкою робочого місця. Для цього повинні бути передбачені вільні проходи, шляхи доставки деталей, інструментів та приладів, відгородження робочої зони та

попереджувальні засоби. Для службових і виробничих приміщень повинні бути розроблені інструкції з техніки безпеки, які вивішуються на видних місцях. Перед тим, як починати роботу в приміщенні воно має бути перевірено на:

- справність і готовність до роботи приладів і установок;
- наявність заземлення і надійність з'єднання проводів зовнішнім оглядом і легким просмикуванням;
- наявність і справність засобів індивідуального захисту, пожежогасіння, а також комплектність аптечки;
- відсутність короткозамкнених з'єднань на зовнішніх струмоємних клемах обладнання;
- розташування ручок регуляторів напруги електроприладів.

Забороняється:

- розпочинати роботу, не ознайомившись із властивостями речовин, сумішей і матеріалів з якими доведеться працювати, а також у тому разі, коли етапи роботи викликають сумнів.
- Розташовувати поблизу робочого місця обладнання, котре проводить електричний струм та перебуває під напругою і до якого можливий випадковий дотик.

Заходи, спрямовані на підвищення рівня техніки безпеки

Перед початком роботи на проєктованій ділянці, треба перевірити справність устаткування, пристосувань і інструмента, огорож, захисного заземлення, вентиляції. Перевірити правильність складування заготівель і напівфабрикатів. Під час роботи, необхідно виконувати всі правила використання технологічного устаткування, дотримуватися правил безпечної експлуатації транспортних засобів, тари та вантажопідіймальних механізмів, дотримуватися вказівок про безпечне утримання робочого місця. Під час надзвичайних подій, треба неухильно виконувати всі правила, що регламентують поведінку персоналу під час виникнення

аварій і пригод, які можуть призвести до аварій і нещасних випадків. По закінченні роботи, повинно бути вимкнено все електроустаткування, проведено прибирання відходів виробництва та інші заходи, що підтримують безпеку на ділянці. Ділянка має бути оснащена необхідними попереджувальними плакатами, обладнання повинно мати відповідне забарвлення, повинна бути виконана розмітка проїжджої частини,

Засоби особистого захисту проїздів. Сама ділянка, мусить бути спланована згідно з вимогами техніки безпеки, а саме дотримання: ширини проходів, проїздів, мінімальної відстані між обладнанням. Всі ці відстані, повинні бути не менше припустимих.

Щоб запобігти негативному впливу виявлених небезпечних та шкідливих виробничих факторів на здоров'я працівників, попередити виникнення виробничого травматизму при виконання технологічного процесу виготовлення деталі, передбачається проведення наступних заходів загального характеру: раціональна організація робочих місць; постійний контроль правильності всіх прийомів праці під час виконання операцій технологічного процесу; своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів виробничого обладнання та інструменту; підтримання проїздів та проходів в належному стані; належні режими виконання всіх основних та допоміжних операцій технологічного процесу; ефективне використання засобів індивідуального захисту, своєчасна перевірка їх стану, дотримання потрібної (встановленої нормами) частоти їхньої заміни; використання сучасних запобіжних пристроїв і огороження робочих зон; проведення послідовної перевірки стану обладнання та допоміжних пристроїв, тощо.

При експлуатації теплообмінних апаратів необхідно керуватися «Правилами пристрою і безпеки експлуатації судів працюючих під тиском. Установки, які працюють під надлишковим тиском більше 0,7 кг/см³, повинно бути зареєстрована в місцевій інспекції Держтехнагляду.

На кожний апарат заводяться шнурові книги для реєстрації результатів випробувань. Керівництво виробництва повинно провести необхідні організаційно-технічні заходи з створення безпечних умов праці, а також затвердити інструкцію з техніки безпеки для кожного робочого місця. Інструктаж обслуговуючого персоналу проводиться не рідше 1 разу в 3 місяці з реєстрацією в спеціальному журналі. Необхідно проводити аналіз причин виникнення нещасних випадків і розроблювати додаткові заходи, які можуть запобігти їх повторення. Обслуговуючий персонал повинен гарно вивчити конструкцію апарату, технологічний режим, призначення і розташування трубопроводів, арматурні контрольно-вимірювальних приборів, інструкцію з техніки безпеки і здати техмінімум з обслуговуванні установки. Категорично забороняється підвищувати тиск та температуру в апаратах і трубопроводах більше за допустимі межі. Необхідно слідкувати за щільністю фланцевих з'єднань та справністю огорожі в рухаючі деталях. Змащування рухаючі деталей і набивка сальників на ходу не дозволяється. Огляд і ремонт внутрішніх частин апарату допускається тільки після його охолодження до температури 30°C. При цьому роботу повинні вести дві людини: один – у внутрішній частині апарату, другий – ззовні. Освітлення в середині апарату, так же як і електроінструменти, дозволяється використовувати 12 В. Під час робіт в середині апарату всі трубопроводи для подачі в них пари, продукту, води і т. ін , повинні бути відключені, а на запорній арматурі повинні бути вивішені таблички «Не включати працюють люди» [12].

Висновки

1. Ми ознайомилися з літературою своєї дипломної роботи та зробили аналітичний огляд.
2. Ознайомилися зі схемою установки для дослідження.
3. На основі критеріальних рівнянь визначили основні параметри пілотної установки.
4. Розробили частину загальної технологічної схеми, а саме, схеми підключення та параметрів реактора.
5. Провели розрахунок основного апарату схеми - реактора

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Псевдоожигение / Под ред. В. Г. Айнштейна, А. П. Баскакова. - М.: Химия, 1991. - 400 с.
2. Дэвидсон Дж., Харрисон Д. Псевдоожигение: Пер. с англ. - М.: Химия, 1974. - 725 с.
3. Електроний ресурс [Режим доступу]: <https://studopedia.info/7-93610.html>
4. Електроний ресурс [Режим доступу]: <https://chem21.info/info/330077/>
5. Расчеты аппаратов кипящего слоя, под ред. И. П. Мухленова, Б. С. Сажина, В.Ф. Фролова, Л., 1986. – 352 с.
6. Вибір опор вертикальних апаратів. Методичні вказівки до практичних занять, курсового проектування з дисциплін „Розрахунок і конструювання типового устаткування”, „Устаткування підприємств хімічної та нафтопереробної промисловості”, „Обладнання хімічних виробництв” та дипломного проектування (для студентів спеціальностей 6.090220, 7.090220, 8.090220 – обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів)./ Уклад. О.І. Барвін, В.В. Іванченко, І.М. Генкіна, В.Г. Табунціков, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. – Сєверодонецьк, 2007. – 29 с.
7. Конструювання і розрахунок сталевих зварних посудин та апаратів. Обичайки та днища: / Укл. О.І. Барвін, І.М. Генкіна, В.В. Іванченко, Г.В. Тараненко, Ю.М. Штонда. Навч. посібник. – Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту імені Володимира Даля, 2005. – 310 с., 56 іл., 42 табл., 33 бібліогр назв.
8. Розрахунок на міцність обичайок і днищ посудин та апаратів від дії опорних навантажень: навчальний посібник/ І. М. Генкіна, В. В. Іванченко, Д. О. Куліков, В. Г. Табунціков, Г. В. Тараненко, Ю. М. Штонда. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – 97 с., 33 іл., 10 бібліогр. назв.

9. Романков П.Г., Курочкина М.И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу "Процессы и аппараты химической промышленности". – Л.: Химия, 1985. – 54 с.

10. Касаткін А.Г. Основні процеси та апарати хімічної технології. М.: Хімія, 1971. - 753 с.

11. Кормільцин Г.С. "Основы диагностики и ремонта химического оборудования", 2007. – 116с.

12. Наказ МНС України 07.05.2007 р. № 312, Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України розроблені замість (наказ МВС України від 05.12.2000 №840