**Зміст**

Вступ

1. Теоретична частина

1.1 Загальні відомості

#### 1.2 Розрахункові перерізи

1.3 Розрахункові навантаження

1.3.1 Розрахунковий тиск

1.3.2 Навантаження від власної ваги

1.3.3 Розрахункові згинальні моменти

1.4 Розрахункова температура

1.5 Визначення товщини стінки корпуса колони

1.6 Визначення згинальних моментів від вітрового навантаження

1.6.1 Визначення періоду основного тону власних коливань

1.6.2 Визначення згинальних моментів від вітрового навантаження в розрахункових перерізах

1.7 Сполучення навантажень

1.8 Розрахунок зведених навантажень та вибір опори

1.9 Розрахунок корпуса колонного апарата на міцність та стійкість

1.9.1 Перевірка міцності корпуса

1.9.2 Перевірка корпуса на стійкість

1.10 Розрахунок опорної обичайки

1.10.1 Розрахунок зварного шва, який з’єднує корпус колони з опорною обичайкою

1.10.2 Розрахунок на стійкість опорної обичайки в зоні отворів

1.10.3 Розрахунок довжини перехідної частини опорної обичайки з корозійностійкої сталі

2. Практична частина

2.1 Розрахунок колонного апарату на міцність та стійкість

2.1.1 Вихідні дані

2.2 Визначення товщини стінки корпуса

2.3 Визначення згинальних моментів від вітрового навантаження

2.3.1 Визначення періоду основного тону власних коливань

2.3.2 Визначення згинальних моментів в розрахункових перерізах

2.4 Сполучення навантажень

2.5 Розрахунок зведених навантажень та вибір опори

2.6 Розрахунок корпуса колонного апарата на міцність та стійкість

2.6.1 Перевірка міцності корпуса

2.6.2 Перевірка корпуса колони на стійкість

2.7 Розрахунок опорної обичайки

2.7.1 Розрахунок зварного шва, який з’єднує корпус колони з опорною обичайкою

2.7.2 Розрахунок на стійкість опорної обичайки в зоні отворів

2.7.3 Розрахунок довжини перехідної частини опорної обичайки з корозійностійкої сталі

Висновок

Література

**Вступ**

Тема курсової роботи «Розрахунок на міцність та стійкість колонних апаратів» з дисципліни «Хімічні технології».

Мета роботи – зробити розрахунок на міцність та стійкість апаратів колонного типу постійного по висоті перерізу, які установлюються поза будівлями та спорудами на циліндричних або конічних опорах і навантажені внутрішнім надлишковим або зовнішнім тиском, осьовим стискальним зусиллям від власної ваги та згинальним моментом від вітрового навантаження.

колонний апарат корпус

**1. Теоретична частина**

**1.1 Загальні відомості**

Визначення згинальних моментів апаратів перемінного поперечного перерізу з допуском у бік запасу міцності можна проводити як для апаратів постійного перерізу з найбільшим діаметром або проводити розрахунок за стандартами [1, 8].

Як розрахункову схему апарата колонного типу при визначенні згинальних моментів від вітрового навантаження приймають консольний пружно защемлений стержень (рисунок 1).

Апарат по висоті умовно розбивають на ділянок, причому висота ї ділянки має бути не більше 10 м. Маси ділянок приймають зосередженими в їх серединах.



Вітрове навантаження, яке розподілене по висоті апарата, замінюють зосередженими горизонтальними силами, прикладеними в серединах ділянок.

Колонний апарат розраховують для робочих умов, умов гідровипробувань і монтажу.



Рисунок 1 – Розрахункова схема колонного апарата

#### 1.2 Розрахункові перерізи

При розрахунку колонного апарата на міцність та стійкість установлюють наступні основні розрахункові перерізи (рисунки 1-3):

– поперечний переріз в місці з’єднання обичайки корпуса з днищем ;



– поперечний переріз в місці приєднання опорної обичайки до корпуса ;



– поперечний переріз опори в місці розміщення отворів ;



– поперечний переріз опори в місці приварення опорного кільця.



Згинальний момент в перерізі приймають рівним згинальному моменту на рівні поверхні фундаменту.



Рисунок 2 – Циліндрична опора колонного апарата



Рисунок 3 – Конічна опора колонного апарата

**1.3 Розрахункові навантаження**

**1.3.1 Розрахунковий тиск**

Розрахунковий тиск в робочих умовах і в умовах гідравлічних випробувань слід визначати за методичними вказівками [11].

**1.3.2 Навантаження від власної ваги**

При розрахунку колонного апарата необхідно враховувати наступні навантаження:

– – вагу колони в робочих умовах, включаючи вагу обслуговуючих майданчиків, ізоляції, внутрішніх пристроїв і робочого середовища, Н;



– – вагу колони в умовах гідровипробувань (без ізоляції), включаючи вагу води, що заповнює колону, Н;



– – максимальну вагу апарата в умовах монтажу (вага колони з ізоляцією та внутрішніми пристроями), Н;



– – мінімальну вагу апарата в умовах монтажу після установлення його у вертикальне положення (вага колони без ізоляції та внутрішніх пристроїв), Н.



**1.3.3 Розрахункові згинальні моменти**

При розрахунку колонних апаратів на міцність та стійкість як розрахункові моменти у відповідних перерізах приймають згинальні моменти, які виникають від вітрового навантаження:

– – згинальний момент в робочих умовах, Н·мм;



– – згинальний момент в умовах гідровипробувань, Н·мм;



– – згинальний момент в умовах монтажу з урахуванням ізоляції та внутрішніх пристроїв, Н·мм.



**1.4 Розрахункова температура**

Розрахункову температуру в небезпечних перерізах колонного апарата слід визначати за методичними вказівками [11].

Для елементів опори, які приварюються до корпуса колони, розрахункову температуру в робочих умовах визначають за формулою

, (1)



Де - розрахункова температура стінки корпуса колони в робочих умовах, ºС;



- перепад температур в опорній обичайці, ºС.



Перепад температур в опорній обичайці слід визначати за формулою:

, (2)



Де - відстань від верхньої кромки опорної обичайки до розрахункового перерізу, мм.



Розрахункову температуру для умов випробувань і монтажу приймають рівною 20 ºС.

**1.5 Визначення товщини стінки корпуса колони**

Виконавчу товщину стінки корпуса колонного апарата слід попередньо визначити за методичними вказівками [11], після чого її приймають за графіками, наведеними на рисунках 4-6, залежно від внутрішнього діаметра, матеріалу корпуса апарата, розрахункового тиску та розрахункової температури.

Після визначення згинальних моментів від вітрового навантаження і стискальних зусиль від ваги колонного апарата та середовища, яке знаходиться усередині нього, проводять перевірний розрахунок за розділом 1.9.



Рисунок 4 – Графік залежності виконавчої товщини стінки корпуса колонного апарата S, мм, зі сталі Ст3сп від величини внутрішнього надлишкового тиску, діаметра обичайки та температури робочого середовища.



Рисунок 5 – Графік залежності виконавчої товщини стінки корпуса колонного апарата S, мм, зі сталі марки 09Г2С від величини внутрішнього надлишкового тиску, діаметра обичайки та температури робочого середовища



Рисунок 6 – Графік залежності виконавчої товщини стінки корпуса колонного апарата S, мм, із корозійностійкої сталі від величини внутрішнього надлишкового тиску, діаметра обичайки та температури робочого середовища.

**1.6 Визначення згинальних моментів від вітрового навантаження**

**1.6.1 Визначення періоду основного тону власних коливань**

Період основного тону власних коливань , с, колонного апарата постійного перерізу з рівномірно розподіленою по висоті масою слід визначати для робочих умов, умов випробувань та монтажу за формулою [1, 8]



, (3)



Де -маса апарата, кг;



- висота колони, мм;



- модуль подовжньої пружності матеріалу корпуса колони при розрахунковій температурі, МПа;



- момент інерції поперечного перерізу корпуса колони відносно центральної осі, мм4;



- момент інерції підошви фундаменту, мм4;



- коефіцієнт нерівномірності стиснення ґрунту, Н/мм3.



Коефіцієнт нерівномірності стиснення ґрунту приймають за даними інженерної геології, а при відсутності таких даних його приймають рівним Н/мм3 [1, 8].



Момент інерції поперечного перерізу корпуса колони відносно центральної осі визначають за формулою:

, (4)



Де - внутрішній діаметр корпуса колонного апарата, мм;



- внутрішній діаметр корпуса колонного апарата, мм;



- сума добавок до розрахункової товщини стінки корпуса колонного апарата, мм.



Якщо точні розміри фундаменту невідомі, момент інерції підошви фундаменту мм4, можна визначати за формулою [1]



, (5)



Де - зовнішній діаметр опорного кільця, мм (рисунки 2, 3).



Значення зовнішніх діаметрів опорних кілець циліндричних опор колонних апаратів наведені в таблиці 1, конічних – в таблиці 2 [7, 10].

Попередньо слід вибирати циліндричну опору.

Таблиця 1 – Зовнішні діаметри опорних кілець циліндричних опор

Розміри в міліметрах

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 400 | 600 | | 800 | | 000 | | 1200 | | 1400 | | 1600 | | | 1800 | | 2000 |
|  | | 600 | 800 | | 1080 | | 1280 | | 1480 | | 1680 | | 1880 | | | 2100 | | 2300 |
|  | 2200 | | | 2400 | | 2500 | | 2600 | | 2800 | | 3000 | | 3200 | 3400 | | 3600 | | |
|  | 2500 | | | 2720 | | 2820 | | 2920 | | 3140 | | 3360 | | 3560 | 3760 | | 3960 | | |

Таблиця 2 – Зовнішні діаметри опорних кілець конічних опор

Розміри в міліметрах

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | 400 | | 600 | | 800 | | 1000 | | 1200 | | 1400 | | 1600 | | 1800 | | 2000 |
|  | | 1260 | | 1480 | | 1680 | | 1880 | | 2100 | | 2300 | | 2500 | | 2720 | | 2920 |
|  | 2200 | | 2400 | | 2500 | | 2600 | | 2800 | | 3000 | | 3200 | | 3400 | | 3600 | | |
|  | 3140 | | 3360 | | 3460 | | 3560 | | 3760 | | 3960 | | 4160 | | 4360 | | 4560 | | |

Значення зовнішніх діаметрів опорних кілець циліндричних опор колонних апаратів із внутрішнім діаметром від 3800 до 6300 мм наведені в галузевому стандарті [7].

**1.6.2 Визначення згинальних моментів від вітрового навантаження в розрахункових перерізах**

Розрахунковий згинальний момент , Н·мм, в перерізі слід визначати за формулою



, (6)



Де - горизонтальна сила від дії вітру на у ділянку колони, Н;



- відстань від середини ї ділянки до основи колони, мм;



- висота опорної обичайки, мм;



- кількість ділянок;



- Число обслуговуючих майданчиків, розташованих вище перерізу ;



– згинальний момент в перерізі від дії вітру на й обслуговуючій майданчик, Н·мм.



Згинальний момент , Н·мм, від дії вітрового навантаження на рівні основи колонного апарата слід визначати за формулою



, (7)



Де – згинальний момент на рівні основи колонного апарата від дії вітрового навантаження на й обслуговуючий майданчик, Н·мм;



- число обслуговуючих майданчиків на колонному апараті.



Вітрове навантаження , Н, яке діє на у ділянку колони, визначають за формулою



, (8)



Де – середня статична складова вітрового навантаження на у ділянку, Н;



– пульсаційна складова вітрового навантаження, яке діє на у ділянку, Н.



Середню статичну складову вітрового навантаження на у ділянку визначають за формулою



, (9)



– нормативне значення статичної складової вітрового навантаження на середині ї ділянки колони (на висоті над поверхнею ґрунту), МПа;



- зовнішній діаметр апарата, мм;



- висота -ї ділянки колони, мм.



При визначенні розрахункових зусиль для колонного апарата як зовнішній діаметр приймають:

– для умов монтажу без ізоляції і гідровипробувань – зовнішній діаметр обичайки;

– для умов монтажу з ізоляцією і робочих умов – зовнішній діаметр ізоляції.

Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження на середині ї ділянки колони визначають за формулою



, (10)



- нормативне значення вітрового тиску, МПа;



- коефіцієнт, який враховує змінення вітрового тиску по висоті апарата;



- аеродинамічний коефіцієнт [1, 8].



Для району Донбасу (III вітровий район) швидкісний напір вітру складає

МПа.



Коефіцієнт, який враховує змінення вітрового тиску по висоті апарата, визначають за формулою

. (11)



Аеродинамічний коефіцієнт приймають рівним:

– для корпуса апарата без обслуговуючих майданчиків

;



– для корпуса апарата з обслуговуючими майданчиками при врахуванні загальної площі проекції контуру обслуговуючого майданчика на вертикальну площину

.



Пульсаційну складову вітрового навантаження на у ділянку, , Н, визначають за формулою



, (12)



Де коефіцієнт простірної кореляції пульсацій тиску вітру;



- маса ї ділянки апарата, кг;



- прискорення вільного падіння, м/c2;



- коефіцієнт динамічності при вітровому навантаженні;



- зведене відносне прискорення центра ваги ї ділянки.



Масу ї ділянки апарата слід визначати за формулою



, (13)



Де - маса колонного апарата разом з опорою, кг.



- висота колонного апарата разом з опорою, мм.



Масу опори слід визначати за формулою

. (14)



Коефіцієнт динамічності при вітровому навантаженні залежно від параметра

(15)



слід визначати за формулою

. (16)



Коефіцієнт простірної кореляції пульсацій тиску вітру визначають за формулою

. (17)



Зведене відносне прискорення центра ваги ї ділянки визначають за формулою



, (18)



Де - відносне переміщення центра ваги ї ділянки, 1/Н·мм;



- коефіцієнт пульсації тиску вітру для середини ї ділянки на висоті .



Відносне переміщення центра ваги ї ділянки , 1/(H·мм), визначають за формулою



, (19)



Де - безрозмірний коефіцієнт



Коефіцієнт визначають за формулою



, (20)



Де - відстань від середини ї ділянки до основи колонного апарата, мм.



Коефіцієнт пульсації тиску вітру для середини ї ділянки на висоті слід визначати за формулою



. (21)



Згинальний момент в перерізі від дії вітрового навантаження на й обслуговуючий майданчик визначають за формулою



, (22)



Де безрозмірний коефіцієнт, який враховує змінення вітрового тиску на й обслуговуючий майданчик;



- відстань від центра ваги го обслуговуючого майданчика до поверхні землі, мм;



- безрозмірний коефіцієнт;



- коефіцієнт пульсації швидкісного напору вітру для го обслуговуючого майданчика на висоті ;



- площа проекції контуру обслуговуючого майданчика на вертикальну площину (вітрильність майданчика), мм2.



Коефіцієнт визначають за формулою



. (23)



Коефіцієнт визначають за формулою



. (24)



Коефіцієнт пульсації швидкісного напору вітру для го обслуговуючого майданчика на висоті визначають за формулою



. (25)



Габаритні розміри обслуговуючого майданчика та його розташування відносно люка показані на рисунку 7.

Площу проекції контуру майданчика на вертикальну площину слід визначати за формулою

. (26)



Згинальний момент від дії вітрового навантаження на й обслуговуючий майданчик в основі колони визначають за формулою



. (27)



Рисунок 7 – Розміри обслуговуючого майданчика

**1.7 Сполучення навантажень**

Сполучення навантажень у відповідних розрахункових перерізах для робочих умов, умов випробувань та монтажу наведені в таблиці 3. Таблиці сполучення навантажень складають для розрахункових перерізів і .



Таблиця 3 – Сполучення навантажень

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Умови роботи | Розрахунковий  тиск Р, МПа | Осьовестискальне  зусилля F, Н | Розрахунковий згинальний  момент М, Н⋅мм |
| Робочі | Р1 | F1=G1 |  |
| Випробувань | Р2 | F2=G2 |  |
| Монтажу | 0 | F3=G3  F4=G4 |  |

Позначення у таблиці:

– розрахунковий згинальний момент у відповідному перерізі в робочих умовах;



– розрахунковий згинальний момент у відповідному перерізі в умовах випробувань;



– розрахунковий згинальний момент у відповідному перерізі в умовах монтажу.



**1.8 Розрахунок зведених навантажень та вибір опори**

Максимальне зведене навантаження слід визначати за формулою [2]

, (28)



Де - розрахунковий згинальний момент в основі опори в робочих умовах, Н·мм;



- внутрішній діаметр опорної обичайки (для конічних опор – внутрішній діаметр циліндричної частини опорної обичайки), який дорівнює внутрішньому діаметру корпуса колони, мм;



- розрахункове осьове стискальне зусилля в основі опори в робочих умовах, Н;



– розрахунковий згинальний момент в основі опори в умовах випробувань, Н·мм;



- розрахункове осьове стискальне зусилля в основі опори в умовах випробувань, Н.



Мінімальне зведене навантаження слід визначати за формулою

, (29)



Де – розрахунковий згинальний момент в основі опори в умовах монтажу, Н мм;



- мінімальне розрахункове осьове стискальне зусилля в основі опори (вага колони з опорою) в умовах монтажу, Н.



По зведеним навантаженням і вибирають опору за галузевим стандартом України [7]. При цьому допускається перевищення зведених навантажень над табличними до 10%.



**1.9 Розрахунок корпуса колонного апарата на міцність та стійкість**

**1.9.1 Перевірка міцності корпуса**

Розрахунок напружин слід здійснювати в перерізі для робочих умов та умов монтажу за стандартом [2].



Подовжні напружини і , МПа, розраховують за формулами:



з навітряного боку

; (30)



з підвітряного боку

. (31)



Кільцеву напружину , МПа, розраховують за формулою



. (32)



Еквівалентні напружини і , МПа, розраховують за формулами:



з навітряного боку

; (33)



з підвітряного боку

, (34)



Де - коефіцієнт міцності кільцевого зварного шва



Перевірку умов міцності проводять за формулами:

з навітряного боку

; (35)



з підвітряного боку

, (36)



Де - допустима напружина матеріалу корпуса колони при розрахунковій температурі, МПа;



- коефіцієнт міцності кільцевого зварного шва.



В формулу (35) слід підставляти , якщо , в формулу (36) – , якщо .



**1.9.2 Перевірка корпуса на стійкість**

Перевірку корпуса колони на стійкість проводять для робочих умов, умов випробувань та монтажу.

Якщо колонний апарат працює під внутрішнім надлишковим тиском або без тиску та товщина стінки опорної обичайки менше або дорівнює товщині стінки обичайки колони, а механічні властивості матеріалу опорної обичайки не перевищують відповідні властивості матеріалу обичайки колони, розрахунок колонного апарата на стійкість не проводять. У цьому випадку достатньо провести перевірку стійкості опорної обичайки по підрозділу 10.2.

В іншому випадку перевірку стійкості корпуса слід проводити в перерізі за формулою



, (37)



Де - допустиме осьове стискальне зусилля, Н;



- допустимий згинальний момент, Н мм.



Навантаження і приймають відповідно до таблиці 3 для перерізу .



Допустиме стискальне зусилля визначають за формулою

, (38)



де – допустимі осьові стискальні зусилля за умови відповідно міцності та стійкості в межах пружності, Н.



При цьому допустиме осьове стискальне зусилля за умови міцності для гладкої циліндричної обичайки слід визначати за формулою

, (39)



а допустиме осьове стискальне зусилля за умови стійкості в межах пружності – за формулою

. (40)



У випадку, якщо



. (41)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови місцевої стійкості в межах пружності визначають за формулою

, (42)



де – коефіцієнт запасу стійкості.



Коефіцієнти запасу стійкості при розрахунку колонних апаратів слід приймати рівними [11]:

– 2,4 – для робочих умов;

– 1,8 – для умов випробувань та монтажу.

Допустиме осьове стискальне зусилля за умови загальної стійкості в межах пружності слід визначати за формулою

, (43)



де – гнучкість корпуса колони.



Гнучкість корпуса колони визначають за формулою

, (44)



де – зведена розрахункова довжина корпуса колони, мм.



Зведену розрахункову довжину корпуса колони визначають по методичним вказівкам [11].

Допустимий згинальний момент для корпуса колони , Н·мм, визначають за формулою



, (45)



Де – допустимий згинальний момент за умови міцності, Н·мм;



– допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності, Н·мм.



Допустимий згинальний момент за умови міцності визначають за формулою

, (46)



а допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності – за формулою

. (47)



Для колон, що працюють під зовнішнім тиском, перевірку на стійкість в умовах випробувань і монтажу слід проводити за формулою (37), а в робочих умовах – за формулою

, (48)



Де - допустимий зовнішній тиск, МПа.



Допустимий зовнішній тиск визначають за формулою

, (49)



Де – допустимий зовнішній тиск за умови міцності, МПа;



– допустимий зовнішній тиск за умови стійкості в межах пружності, МПа.



Допустимий зовнішній тиск за умови міцності визначають за формулою

, (50)



а допустимий тиск за умови стійкості в межах пружності – за формулою

, (51)



Де

. (52)



**1.10 Розрахунок опорної обичайки**

Розрахунок опорної обичайки проводять для робочих умов і умов випробувань. Розрахункові навантаження в перерізі слід приймати відповідно до таблиці 3. Для перерізу використовують розрахункові навантаження, які діють на рівні поверхні ґрунту (в перерізі ).



**1.10.1 Розрахунок зварного шва, який з’єднує корпус колони з опорною обичайкою**

Міцність зварного шва (рисунок 2, переріз ) перевіряють за формулою



, (53)



Де - подовжня напружина, МПа;



- товщина зварного шва в місці приварення до корпуса колони опорної обичайки, яка дорівнює меншої з товщин корпуса колони та опорної обичайки, мм;



- коефіцієнт міцності зварного шва [1];



– допустима напружина для опорної обичайки при розрахунковій температурі, МПа;



– згинальний момент від дії вітрового навантаження в перерізі , Н мм.



**1.10.2 Розрахунок на стійкість опорної обичайки в зоні отворів**

Стійкість опорної обичайки в зоні отворів (переріз ) перевіряють в робочих умовах та умовах випробування за формулою



, (54)



- розрахункове осьове стискальне зусилля, яке діє на фундамент, Н;



– згинальний момент від дії вітрового навантаження в основі колонного апарата, Н мм;



- допустиме осьове стискальне зусилля для опорної обичайки, Н;



– допустимий згинальний момент для опорної обичайки, Н мм;



- внутрішній діаметр конічної обичайки в розрахунковому перерізі, мм;



– безрозмірні коефіцієнти.



Отвори діаметром менше при розрахунку за формулою (54) не враховуються.



Для розрахункового перерізу визначають безрозмірні коефіцієнти за формулами

, (55)



Де – відповідно площа, найменший момент опору та координата центра ваги найбільш ослабленого поперечного перерізу.



Допустиме осьове стискальне зусилля і допустимий згинальний момент для гладкої циліндричної обичайки слід розраховувати відповідно за формулами (38) і (45).

Допустиме осьове стискальне зусилля для конічної обичайки визначають за формулою

, (56)



Де – відповідно площа, найменший момент опору та координата центра ваги найбільш ослабленого поперечного перерізу.



- ефективний діаметр конічної обичайки при осьовому стисненні та згині, мм.



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови міцності для гладкої конічної обичайки слід визначати за формулою

, (57)



Де виконавча товщина конічної обичайки опори, мм;



- добавка для компенсації корозії та ерозії до розрахункової товщини стінки обичайки опори, мм;



- половина куту розтвору при вершині конічної обичайки, град.



Допустиме осьове стискальне зусилля визначають за умови стійкості в межах пружності за формулою

, (58)



Де - модуль подовжньої пружності матеріалу конічної обичайки опори при розрахунковій температурі, МПа



Ефективний діаметр конічної обичайки при осьовому стисненні та згині визначають за формулою

, (59)



Де - внутрішній діаметр більшої основи конічної обичайки опори, мм.



Допустимий згинальний момент для гладкої конічної обичайки визначають за формулою (45).

Допустимий згинальний момент за умови міцності визначається за формулою

, (60)



а допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності – за формулою

. (61)



**1.10.3 Розрахунок довжини перехідної частини опорної обичайки з корозійностійкої сталі**

Для теплоізольованої опорної обичайки розрахункову допустиму температуру в місці стику перехідної та опорної обичайок визначають за формулою

, (62)



Де – коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно перехідної та опорної обичайок, 1/ºС;



- допустиме осьове стискальне зусилля на опорну обичайку в робочих умовах, Н;



- допустимий згинальний момент на опорну обичайку в робочих умовах, Н·мм;



- модуль подовжньої пружності матеріалу перехідної обичайки, МПа.



Значення величин визначають при температурі, яку розраховують за формулою



. (63)



Різниця температур в днищі та допустимої в місці стику складає

. (64)



Розрахункова довжина перехідної частини обичайки складає

. (65)



Виконавчу довжину перехідної обичайки , мм, визначають за формулою



(66)



і приймають кратною 100 мм.

**2. Практична частина**

**2.1 Розрахунок колонного апарату на міцність та стійкість**

**2.1.1 Вихідні дані**

Внутрішній діаметр колонного апарата , мм . 1000



Висота колонного апарата , мм . .15000



Висота опорної обичайки , мм . 2000



Відстань від центра ваги 1-го зверху обслуговуючого майданчика до поверхні ґрунту , мм ..14000



Відстань від центра ваги 2-го зверху обслуговуючого майданчика до поверхні ґрунту , мм . 9600



Відстань від центра ваги 3-го зверху обслуговуючого майданчика до поверхні ґрунту , мм ..2500



Маса колонного апарата, кг, при товщині стінки =8 мм



– в робочих умовах . ..6550



– в умовах випробувань . 15200



– в умовах монтажу з ізоляцією та внутрішніми пристроями .5150



– в умовах монтажу без ізоляції і внутрішніх пристроїв 3700



Матеріал корпуса. сталь марки 10Х17Н13М2Т

Матеріал опори сталь Ст3сп5

Робочий тиск в апараті , МПа 0,8



Розрахункова температура стінки апарата , °С ..100



Модуль подовжньої пружності матеріалу корпуса апарата при розрахунковій температурі, МПа ..



Модуль подовжньої пружності матеріалу корпуса апарата при температурі =20°С, МПа ..



Модуль подовжньої пружності матеріалу опорної обичайки при розрахунковій температурі, МПа .



Модуль подовжньої пружності матеріалу опорної обичайки при температурі =20°С, МПа



Допустима напружина для сталі марки 10Х17Н13М2Т при розрахунковій температурі =100 °С , МПа .174



Допустима напружина для сталі марки 10Х17Н13М2Т при температурі =20 °С , МПа 184



Допустима напружина для сталі марки Ст3сп5 при температурі =20 °С , МПа 154



Умовна межа текучості для сталі марки 12Х18Н10Т , МПа .240



Межа текучості для сталі марки Ст3сп5 , МПа ..250



Товщина шару ізоляції , мм .. 50



Група апарата за ГСТУ 3-17-191-2000 .. .1

Густина середовища , кг/м3 . ..1600



Висота середовища в кубі апарата , мм . 2000



Висота води в апараті в умовах випробувань, мм ..14000



Розрахункова схема апарата наведена на рисунку 8.

**2.2 Визначення товщини стінки корпуса**

Тиск в колонному апараті під час дії запобіжного клапана визначаємо за формулою [11]

МПа.



Розрахунковий тиск без урахування гідростатичного тиску визначаємо за формулою

МПа.



Гідростатичний тиск середовища визначаємо за формулою

,



- густина робочого середовища в апараті, кг/м3;



- прискорення вільного падіння, м/с2



- висота середовища в апараті, м.



Рисунок 8 – Розрахункова схема колонного апарата

МПа.



Так як гідростатичний тиск середовища складає менше 5 % робочого тиску МПа, розрахунковий тиск визначаємо без урахування гідростатичного



МПа.



Приймаємо розрахунковий тиск рівним МПа.



Пробний тиск визначаємо за формулою

,



Де - розрахунковий тиск в апараті, МПа.



МПа.



Гідростатичний тиск води в умовах випробувань визначаємо, враховуючи, що густина води дорівнює .



МПа.



Так як гідростатичний тиск води

МПа



складає більше 5 % від пробного тиску, розрахунковий тиск в умовах випробувань визначаємо з урахуванням гідростатичного тиску води



МПа.



Приймаємо розрахунковий тиск в умовах випробувань рівним =1,24 МПа.



Перевіряємо необхідність розрахунку на міцність в умовах випробувань

МПа.



Так як розрахунковий тиск в умовах випробувань більше розрахункового тиску в робочих умовах, помноженого на , розрахунок на міцність необхідно проводити не тільки для робочих умов, але і для умов випробувань.



Допустиму напружину в умовах випробувань визначаємо за формулою [11]

МПа.



Розрахункову товщину стінки корпуса колонного апарата визначаємо за формулою [11]

,



- коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів корпуса, мм.



Коефіцієнт міцності подовжніх зварних швів корпуса приймаємо відповідно до групі апарата. Для 1 групи апарата = 1 [11].



Розрахункова товщина стінки складає:

– для робочих умов

мм;



– для умов випробувань

мм.



Виконавчу товщину стінки колонного апарата визначаємо за формулою [11]



Де - розрахункова товщина стінки корпуса, мм;



- сума добавок до розрахункової товщини стінки, мм.



Сума добавок до розрахункової товщини стінки корпуса колони складає



Де - добавка для компенсації корозії та ерозії до розрахункової товщини стінки корпуса, мм;



- Добавка для компенсації мінусового допуску на товщину сталевого листа, мм.



Добавку до розрахункової товщини стінки корпуса, виповненого із корозійностійкої сталі, приймаємо рівною нулю.



Добавку для сталевого листа товщиною 4 мм приймаємо рівною 0,5 мм.



мм.



Виконавчу товщину стінки колонного апарата визначаємо за розрахунковою товщиною для умов випробувань, враховуючи що вона є найбільшою

мм.



Відповідно до графіка, зображеного на рисунку 6, виконавчу товщину стінки колонного апарата приймаємо рівною 8 мм.

Для сталевого листа товщиною 8 мм добавку приймаємо рівною 0,8 мм [11].



Для прийнятого значення товщини стінки розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск в робочих умовах за формулою



МПа.



Умова міцності

МПа



виконується.

Для прийнятого значення товщини стінки розраховуємо допустимий внутрішній надлишковий тиск в умовах випробувань



МПа.



Умова міцності

МПа



виконується.

**2.3 Визначення згинальних моментів від вітрового навантаження**

Колонний апарат розраховуємо для робочих умов, умов випробувань і монтажу.

**2.3.1 Визначення періоду основного тону власних коливань**

Момент інерції поперечного перерізу корпуса колони відносно центральної осі визначаємо за формулою (4)

.



Як суму добавок до розрахункової товщини стінки колонного апарата приймаємо добавку на мінусовий допуск сталевого листа товщиною 8 мм, мм.



мм4.



Коефіцієнт нерівномірності стиснення ґрунту за відсутністю даних інженерної геології приймаємо рівним Н/мм3.



Оскільки точні розміри фундаменту невідомі, момент інерції підошви фундаменту визначаємо за формулою (5)

.



За таблицею 1 визначаємо зовнішній діаметр опорного кільця циліндричної опори колонного апарата діаметром 1000 мм, мм.



Отже

мм4.



Період основного тону власних коливань колонного апарата з рівномірно розподіленою по висоті масою в робочих умовах визначаємо за формулою (3)

=



с.



**2.3.2 Визначення згинальних моментів в розрахункових перерізах**

Згідно з розрахунковою схемою колонний апарат розбиваємо на три ділянки: мм і мм.



Відстань від середини 1-ї зверху ділянки до основи колони складає

=15000 – 6500/2 = 11750 мм.



Відстань від середини 2-ї зверху ділянки до основи колони складає

=15000 – (6500 +6500/2) = 5250 мм.



Відстань від середини 3-ї зверху ділянки до основи колони складає

=0,5×2000 = 1000 мм.



Коефіцієнт, який враховує змінення вітрового тиску по висоті апарата, визначаємо за формулою (11)

.



Для 1-ї ділянки

.



Для 2-ї ділянки

.



Для 3-ї ділянки (опори)

.



Для району Донбасу (III вітровий район) швидкісний напір вітру складає

МПа.



Аеродинамічний коефіцієнт для апарата з обслуговуючими майданчиками приймаємо рівним

.



Нормативне значення статичної складової вітрового навантаження на середині ї ділянки колони визначаємо за формулою (10)



.



Для 1-ї ділянки

МПа.



Для 2-ї ділянки

МПа.



Для 3-ї ділянки

МПа.



Зовнішній діаметр колонного апарата в робочих умовах (з ізоляцією) складає

мм.



Середню статичну складову вітрового навантаження на у ділянку визначаємо за формулою (9)



.



Середня статична складова вітрового навантаження на 1-у ділянку складає

Н.



Середня статична складова вітрового навантаження на 2-у ділянку складає

Н.



Середня статична складова вітрового навантаження на 3-ю ділянку (опору) складає

Н.



Масу ї ділянки апарата в робочих умовах визначаємо за формулою (13)



.



Маса 1-ї та 2-ї ділянок апарата складає

кг.



Маса 3-ї ділянки апарата (опори) складає

кг.



Коефіцієнт пульсації тиску вітру для середини -ї ділянки на висоті визначаємо за формулою (21)



.



Коефіцієнт пульсації тиску вітру для середини 1-ї зверху ділянки на висоті 11750 мм складає

.



Коефіцієнт пульсації тиску вітру для середини 2-ї ділянки на висоті 5250 мм складає

.



Коефіцієнт пульсації тиску вітру для середини 3-ї ділянки на висоті 1000 мм складає

.



Коефіцієнт простірної кореляції пульсацій тиску вітру визначаємо за формулою (17)



Параметр для робочих умов визначаємо за формулою (15)



.



Коефіцієнт динамічності при вітровому навантаженні для робочих умов визначаємо за формулою (16)

.



Коефіцієнт визначаємо за формулою (20)



.



Для 1-ї ділянки

.



Для 2-ї ділянки

.



Для 2-ї ділянки (опори)

.



Відносне переміщення центра ваги ї ділянки в робочих умовах визначаємо за формулою (19)



.



Для 1-ї ділянки



Для 2-ї ділянки



.



Для 3-ї ділянки



Зведене відносне прискорення центра ваги ї ділянки в робочих умовах визначаємо за формулою (18)



.



Обчислюємо чисельник формули для визначення зведеного відносного прискорення центра ваги ї ділянки



Обчислюємо знаменник формули для визначення зведеного відносного прискорення центра ваги ї ділянки



Зведене відносне прискорення центра ваги 1-ї ділянки складає

.



Зведене відносне прискорення центра ваги 2-ї ділянки складає

.



Зведене відносне прискорення центра ваги 3-ї ділянки складає

.



Пульсаційну складову вітрового навантаження на у ділянку , Н, в робочих умовах визначаємо за формулою (12)



.



Пульсаційна складова вітрового навантаження на 1-у ділянку складає



Пульсаційна складова вітрового навантаження на 2-у ділянку складає



Пульсаційна складова вітрового навантаження на 3-ю ділянку складає



Вітрове навантаження , яке діє на у ділянку колони в робочих умовах, визначаємо за формулою (8)



.



Вітрове навантаження, яке діє на 1-у ділянку колони, складає

Н.



Вітрове навантаження, яке діє на 2-у ділянку колони, складає

Н.



Вітрове навантаження, яке діє на 3-ю ділянку колони, складає

Н.



Площу проекції контуру обслуговуючого майданчика на вертикальну площину визначаємо за формулою (26)

мм2.



Коефіцієнт визначаємо за формулою (23)



,



Де - відстань від центра ваги го обслуговуючого майданчика до поверхні землі, мм.



Для 1-го зверху колонного апарата обслуговуючого майданчика

.



Для 2-го зверху колонного апарата обслуговуючого майданчика

.



Для 3-го зверху колонного апарата обслуговуючого майданчика

.



Коефіцієнт визначаємо за формулою (24)



.



Для 1-го обслуговуючого майданчика

.



Для 2-го обслуговуючого майданчика

.



Для 3-го обслуговуючого майданчика

.



Коефіцієнт пульсації тиску вітру для середини го обслуговуючого майданчика визначаємо за формулою (25)



.



Для 1-го обслуговуючого майданчика



.



Для 2-го обслуговуючого майданчика



.



Для 3-го обслуговуючого майданчика



.



Згинальний момент від дії вітрового навантаження на -й обслуговуючий майданчик в перерізу Б – Б визначаємо за формулою (27)



.



Для 1-го обслуговуючого майданчика згинальний момент від дії вітрового навантаження в перерізі Б – Б в робочих умовах складає



Для 2-го обслуговуючого майданчика згинальний момент від дії вітрового навантаження в перерізі Б – Б в робочих умовах складає



Для 3-го обслуговуючого майданчика згинальний момент від дії вітрового навантаження в перерізі Б – Б в робочих умовах складає



Розрахунковий згинальний момент в робочих умовах в перерізі визначаємо за формулою (6)



Згинальний момент від дії вітрового навантаження на 1-й обслуговуючий майданчик в перерізі Г – Г визначаємо за формулою (27)



Для 1-го обслуговуючого майданчика згинальний момент від дії вітрового навантаження в перерізі Г – Г в робочих умовах складає



Для 2-го обслуговуючого майданчика згинальний момент від дії вітрового навантаження в перерізі Г – Г складає



Для 3-го обслуговуючого майданчика згинальний момент від дії вітрового навантаження в перерізі Г – Г в робочих умовах складає



Згинальний момент в робочих умовах від дії вітрового навантаження на рівні основи колонного апарата в робочих умовах визначаємо за формулою (7)



**2.4 Сполучення навантажень**

Визначаємо вагу колонного апарата:

– в робочих умовах

Н;



– в умовах випробувань

Н;



– в умовах монтажу з ізоляцією та внутрішніми пристроями

Н;



– в умовах монтажу без ізоляції і внутрішніх пристроїв

Н.



Сполучення навантажень у відповідних розрахункових перерізах (рисунок 8) для робочих умов, умов випробувань та монтажу наведені в таблицях 4-5.

Розрахункові згинальні моменти у відповідних розрахункових перерізах для умов випробувань та монтажу визначаємо аналогічно розрахунку в робочих умовах.

Для перерізу А – А приймаємо сполучення навантажень, яке діє в перерізі Б – Б; для перерізу В – В приймаємо сполучення навантажень, яке діє в перерізі Г – Г.

Таблиця 4 – Сполучення навантажень у перерізі Б – Б апарата з циліндричною опорою

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Умови  роботи | Розрахунковий тиск  Р, МПа | Осьове  стискальне  зусилля F, Н | Розрахунковий згинальний  момент М, Н⋅мм |
| Робочі | 0,83 | F1=G1=6,43·104 |  |
| Випробувань | 1,24 | F2=G2=15·104 |  |
| Монтажу | 0 | F3=G3=5,1·104  F4=G4=3,63·104 |  |

Таблиця 5 – Сполучення навантажень у перерізі Г – Г апарата з циліндричною опорою

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Умови  роботи | Розрахунковий тиск  Р, МПа | Осьове  стискальне  зусилля F, Н | Розрахунковий згинальний  момент М, Н⋅мм |
| Робочі | 0,83 | F1=G1=6,43·104 |  |
| Випробувань | 1,24 | F2=G2=15·104 |  |
| Монтажу | 0 | F3=G3=5,1·104  F4=G4=3,63·104 |  |

**2.5 Розрахунок зведених навантажень та вибір опори**

Максимальне зведене навантаження визначаємо за формулою (28)



Мінімальне зведене навантаження визначаємо за формулою (29)

Н.



По зведеним навантаженням і вибираємо опору за галузевим стандартом України [7]. Згідно стандарту [7] для апарата діаметром мм на мінімальне зведене навантаження циліндричні опори типів 1-4 не використовуються. Приймаємо конічну опору типу 5, яка допускає навантаження: 0,8 МН і При цьому допускається перевищення зведених навантажень над табличними до 10%. Перевищення мінімального зведеного навантаження над табличним складає



,



що не перевищує 10% від мінімального зведеного навантаження :



Зовнішній діаметр опорного кільця конічної опори колонного апарата діаметром 1000 мм складає мм [7].



Розрахункові згинальні моменти у відповідних розрахункових перерізах для робочих умов, умов випробувань та монтажу апарата з конічною опорою визначаємо аналогічно розрахунку апарата з циліндричною опорою за підрозділами 11.3-11.4. Результати розрахунків представлені в таблицях 6 і 7.

Визначаємо максимальне зведене навантаження для апарату з конічної опорою за формулою (28)



Таблиця 6 – Сполучення навантажень у перерізі Б – Б апарата з конічною опорою

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Умови  роботи | Розрахунковий тиск Р, МПа | Осьове стискальне  зусилля F, Н | Розрахунковий згинальний  момент М, Н⋅мм |
| Робочі | 0,83 | F1=G1=6,43·104 |  |
| Випробувань | 1,24 | F2=G2=15·104 |  |
| Монтажу | 0 | F3=G3=5,1·104  F4=G4=3,63·104 |  |

Мінімальне зведене навантаження визначаємо за формулою (29)

Н.



Перевищення зведених навантажень над табличними для обраної раніше конічної опори складає

,



що не перевищує 10% від мінімального зведеного навантаження :



Таблиця 7 – Сполучення навантажень у перерізі Г – Г апарата з конічною опорою

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Умови  роботи | Розрахунковий тиск Р, МПа | Осьове  стискальне  зусилля F, Н | Розрахунковий згинальний  момент М, Н⋅мм |
| Робочі | 0,83 | F1=G1=6,43·104 |  |
| Випробувань | 1,24 | F2=G2=15·104 |  |
| Монтажу | 0 | F3=G3=5,1·104  F4=G4=3,63·104 |  |

**2.6 Розрахунок корпуса колонного апарата на міцність та стійкість**

**2.6.1 Перевірка міцності корпуса**

Розрахунок напружин здійснюємо в перерізі для робочих умов та умов монтажу (рисунок 9).



Для робочих умов:

.



Подовжні напружини і розрахуємо за формулами (30) і (31):



– з навітряного боку



– з підвітряного боку



Рисунок 9 – Конічна опора колонного апарата

Кільцеву напружину розраховуємо за формулою (32)



МПа.



Еквівалентні напружини і розраховуємо за формулами (33) і (34):



– з навітряного боку

МПа;



– з підвітряного боку

МПа.



Перевірку умов міцності проводимо за формулами (35) і (36):

– з навітряного боку

,



;



– з підвітряного боку

,



.



Умови міцності виконуються.

Для умов монтажу:

.



Подовжні напружини і розрахуємо за формулами (30) і (31):



– з навітряного боку



– з підвітряного боку

.



Кільцеву напружину розраховуємо за формулою (32)



МПа.



Еквівалентні напружини і розраховуємо за формулами (33) і (34):



– з навітряного боку

МПа;



– з підвітряного боку

МПа.



Перевірку умов міцності проводимо за формулами (35) і (36):

– з навітряного боку

,



;



– з підвітряного боку

,



.



Умови міцності виконуються.

**2.6.2 Перевірка корпуса колони на стійкість**

Так як колонний апарат працює під внутрішнім надлишковим тиском і товщина стінки опорної обичайки більше товщині стінки обичайки колони, виконуємо розрахунок корпуса колонного апарата на стійкість. Перевірку корпуса на стійкість проводимо для робочих умов, умов випробувань та монтажу.

Для робочих умов навантаження і приймаємо відповідно до таблиці 6 для перерізу :



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови міцності для гладкої циліндричної обичайки визначаємо за формулою (39)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови місцевої стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (42), прийнявши коефіцієнт запасу стійкості



Зведену розрахункову довжину корпуса колони приймаємо за стандартом [3] рівною подвійній довжині корпуса без урахування опорної обичайки:

мм.



Гнучкість корпуса колони визначаємо за формулою (44)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови загальної стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (43)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (40)

Н.



Допустиме стискальне зусилля визначаємо за формулою (38)

Н.



Допустимий згинальний момент за умови міцності визначаємо за формулою (46)



Допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (47)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент для корпуса колони визначаємо за формулою (45)

Н·мм.



Виконуємо перевірку стійкості корпуса колони в перерізі за формулою (37)



,



.



Умова стійкості в робочих умовах виконується.

Для умов випробувань навантаження і приймаємо відповідно до таблиці 6 для перерізу :



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови міцності для гладкої циліндричної обичайки визначаємо за формулою (39)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови місцевої стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (42), прийнявши коефіцієнт запасу стійкості



Зведену розрахункову довжину та гнучкість корпуса колони приймаємо такими ж, як і в робочих умовах:

мм;



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови загальної стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (43)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (40)

Н.



Допустиме стискальне зусилля визначаємо за формулою (38)

Н.



Допустимий згинальний момент за умови міцності визначаємо за формулою (46)



Допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (47)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент для корпуса колони визначаємо за формулою (45)

Н·мм.



Перевірку стійкості корпуса колони в перерізі виконуємо за формулою (37)



,



.



Умова стійкості в умовах випробувань виконується.

Для умов монтажу навантаження і приймаємо відповідно до таблиці 6 для перерізу :



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови міцності для гладкої циліндричної обичайки визначаємо за формулою (39)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови місцевої стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (42), прийнявши коефіцієнт запасу стійкості



Зведену розрахункову довжину та гнучкість корпуса колони приймаємо такими ж, як і в робочих умовах:

мм;



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови загальної стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (43)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (40)

Н.



Допустиме осьове стискальне зусилля визначаємо за формулою (38)

Н.



Допустимий згинальний момент за умови міцності визначаємо за формулою (46)



Допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (47)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент для корпуса колони визначаємо за формулою (45)

Н·мм.



Перевірку стійкості корпуса в перерізі виконуємо за формулою (37)



,



.



Умова стійкості в умовах випробувань виконується.

**2.7 Розрахунок опорної обичайки**

Розрахунок опорної обичайки проводимо для робочих умов і умов випробувань. Розрахункові навантаження в перерізі приймаємо відповідно до таблиці 6. Для перерізу приймаємо розрахункові навантаження, які діють у перерізі (таблиця 7).



**2.7.1 Розрахунок зварного шва, який з’єднує корпус колони з опорною обичайкою**

Товщину зварного шва в місці приварення до корпуса колони опорної обичайки приймаємо рівною меншій з товщин корпуса колони та опорної обичайки, мм.



Міцність зварного шва (переріз ) перевіряємо за формулою (55):



в робочих умовах



в умовах випробувань



Умови міцності виконуються.

**2.7.2 Розрахунок на стійкість опорної обичайки в зоні отворів**

Стійкість опорної обичайки в зоні отворів перевіряємо у перерізі (рисунок 9).



Внутрішній діаметр конічної обичайки в розрахунковому перерізі визначаємо відповідно до рисунку 9, мм.



Зовнішній діаметр опорної обичайки в розрахунковому перерізі дорівнює



мм.



Визначаємо площу перерізу, мм2, (рисунок 10) за формулою



,



Де - площа кільця, мм2



- площа вирізу у перерізі для лазу, мм2;



- площа зміцнюючих елементів, мм2.



Площа кільця складає

мм2.



Площа вирізу у перерізі для лазу приблизно визначаємо як площу прямокутника:

мм2.



Площа зміцнюючих елементів

мм2.



Площа перерізу складає

мм2.



Для визначення найменшого моменту опору поперечного перерізу визначаємо моменти опору перерізу В – В відносно осей X і Y (рисунок 10).

Момент опору , мм3,перерізу В – В визначаємо як алгебраїчну суму його складових частин



,



Де - момент опору кільця, мм3;



- момент опору вирізу у перерізі для лазів, мм3;



- момент опору зміцнюючих елементів, мм3.



Момент опору кільця визначаємо за формулою



Рисунок 10 – Переріз конічної опори по лазам

Для знаходження моменту опору вирізу відносно осі х визначаємо момент інерції вирізу відносно осі X



мм4,



Де - відстань від осі, що проходить через центр ваги, до осі X.



Момент опору вирізу відносно осі X визначаємо за формулою

мм3.



Де – координата найбільш віддаленої від осі X точки перерізу.



Аналогічно визначаємо момент опору зміцнюючих елементів відносно осі X



мм4,



мм3.



Визначаємо момент опору перерізу В – В відносно осі X



Для знаходження моменту опору вирізу відносно осі Y визначаємо момент інерції вирізу відносно осі Y



мм4.



Момент опору вирізу відносно осі Y визначаємо за формулою

мм3,



– координата найбільш віддаленої від осі Y точки перерізу.



Аналогічно визначаємо момент опору зміцнюючих елементів відносно осі Y



мм4,



мм3.



Визначаємо момент опору перерізу В – В відносно осі Y



Отже найменшим є момент опору перерізу В – В відносно осі X

мм3.



Визначаємо безрозмірні коефіцієнти за формулами (55):



Допустиме осьове стискальне зусилля і допустимий згинальний момент для конічної обичайки розраховуємо відповідно за формулами (56) і (45).

Внутрішній діаметр більшої основи конічної обичайки опори і половину куту розтвору при вершині конічної обичайки визначаємо відповідно до рисунку 9: мм, .



Ефективний діаметр конічної обичайки при осьовому стисненні та згині визначаємо за формулою (59)

мм.



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови міцності для гладкої конічної обичайки для робочих умов визначаємо за формулою (57)



Допустиме осьове стискальне зусилля визначаємо за умови стійкості в межах пружності за формулою (58)



Допустиме осьове стискальне зусилля для конічної обичайки визначаємо за формулою (56)



Допустимий згинальний момент за умови міцності визначаємо за формулою (60)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (61)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент для гладкої конічної обичайки визначаємо за формулою (45)

Н·мм.



Умова стійкості опорної обичайки в зоні отворів (переріз ) в робочих умовах



виконується.

Проводимо розрахунок стійкості опорної обичайки в зоні отворів для умов випробувань.

Допустиму напружину в умовах випробувань для матеріалу опорної обичайки визначаємо за формулою [11]

МПа.



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови міцності для гладкої конічної обичайки визначаємо за формулою (57)



Допустиме осьове стискальне зусилля визначаємо за умови стійкості в межах пружності за формулою (58)



Допустиме осьове стискальне зусилля для конічної обичайки визначаємо за формулою (56)



Допустимий згинальний момент за умови міцності визначаємо за формулою (60)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (61)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент для гладкої конічної обичайки визначаємо за формулою (45)

Н·мм.



Умова стійкості опорної обичайки в зоні отворів (переріз ) в умовах випробувань ,



виконується.

**2.7.3 Розрахунок довжини перехідної частини опорної обичайки з корозійностійкої сталі**

Значення величин визначаємо при температурі, яку розраховуємо за формулою (63)



ºС.



Коефіцієнти лінійного розширення матеріалів відповідно перехідної та опорної обичайок визначаємо за методичними вказівками [12]:

1/ºС;



1/ºС.



Модуль подовжньої пружності матеріалу перехідної обичайки визначаємо за методичними вказівками [11]

МПа.



Визначаємо допустиме осьове стискальне зусилля і допустимий згинальний момент за умови міцності для конічної обичайки в робочих умовах при температурі ºС.



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови міцності для гладкої конічної обичайки визначаємо за формулою (57)



Допустиме осьове стискальне зусилля за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (58)



Допустиме осьове стискальне зусилля для конічної обичайки визначаємо за формулою (56)



Допустимий згинальний момент за умови міцності визначаємо за формулою (60)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент за умови стійкості в межах пружності визначаємо за формулою (61)

Н·мм.



Допустимий згинальний момент для гладкої конічної обичайки визначаємо за формулою (45)

Н·мм.



Розрахункову допустиму температуру теплоізольованої опорної обичайки в місці стику перехідної та опорної обичайок визначаємо за формулою (62)



Так як допустима температура в місці стику значно перевищує температуру в днищі апарата, то визначати різницю цих температур не потрібно. У цьому випадку виконавчу довжину перехідної обичайки визначаємо за формулою (66) з урахуванням лише конструктивних значень



Остаточно приймаємо виконавчу довжину перехідної обичайки рівною висоті циліндричної частини конічної опори

мм.



**Висновки**

Згідно завдання був зроблений розрахунок колонного апарату на міцність та стійкість.

В процесі виконання завдання ми ознайомилися з теоретичним матеріалом та на базі отриманих знань зробили:

- визначення товщини стінки корпуса;

- визначення згинальних моментів від вітрового навантаження;

- визначення періоду основного тону власних коливань;

- визначення згинальних моментів в розрахункових перерізах;

- розрахунок зведених навантажень та вибір опори;

- розрахунок корпуса колонного апарата на міцність та стійкість;

- розрахунок опорної обичайки;

- розрахунок зварного шва, який з’єднує корпус колони з опорною обичайкою;

- розрахунок на стійкість опорної обичайки в зоні отворів;

- розрахунок довжини перехідної частини опорної обичайки з корозійностійкої сталі.

**Література**

1. ГОСТ 24756-81. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий. М.: Изд-во стандартов, 1981. – 16 с.

2. ГОСТ 24757-81. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность. М.: Изд-во стандартов, 1981. – 19 с.

3. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. М.: Изд-во стандартов, 1989. – 79 с.

4. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. М.: Изд-во стандартов, 1985. – 37 с.

5. Колонные аппараты. Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1987. – 29 с.

6. ГСТУ 3-17-191-2000. Посудини та апарати стальні зварні. Загальні технічні умови. Державний комітет промислової політики України, 2000. – 302 с.

7. ГСТУ 3-17-193-2000. Опори вертикальних апаратів. Типи та основні розміри. Державний комітет промислової політики України, 2000. – 39 с.

8. ГОСТ Р 51273-99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий. М.: Госстандарт России, 1999. – 11 с.

9. ГОСТ Р 51274-99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность. М.: Госстандарт России, 1999. – 12с.

10. АТК 24.200.04-90. Альбом типовых конструкций. Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов. Типы и основные размеры. – 23 с.

11. Методические указания к расчету цилиндрических обечаек стальных сварных сосудов для студентов специальности 7.090220. – Северодонецк. СТИ, 2002. – 83 с.

12. Розрахунок на міцність, жорсткість і герметичність фланцевих з’єднань посудин та апаратів. Методика і приклади розрахунку. – Сєвєродонецьк. СТІ, 2005. – 68 с.