**Оглавление**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Расчет на прочность эллиптической крышки аппарата |  |
|  | Расчет на прочность сферического днища аппарата |  |
|  | Расчет на прочность цилиндрической обечаек реактора |  |
|  | Расчет на прочность конической обечайки реактора и нетороидального перехода цилиндрической обечайки реактора (большего диаметра) в коническую |  |
|  | Расчет массы аппарата и подбор опор |  |
|  | Используемая литература |  |

Перед расчетом определимся с выбором конструкционного материала в зависимости от необходимой химической стойкости. По табл.III.19. «Нержавеющие стали, сортамент, свойства и области применения» [1] выбираем листовую сталь марки 03Х18Н11. Сварные соединения из этой стали, обладают высокой стойкостью против МКК в средах окислительного характера, не подвержены ножевой коррозии. Используется для сварного оборудования емкостного, теплообменного и трубопроводов. Применяется от -253 до +610 °С.

Разрушающее действие среды на материал учитываем введением прибавки С к номинальной толщине детали:

С=П∙τа,

где τа – амортизационный срок службы аппарата (принимаем τа =20 лет);

П – коррозионная проницаемость, мм/год. По табл.III.21. «Коррозионная стойкость аустенитных и аустенитно-ферритных нержавеющих сталей» [1] принимаем П=0,025 мм/год.

С=П∙τа=0,025∙20=0,5мм

1. **РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРЫШКИ**

**АППАРАТА**

Расчет толщины стенки эллиптической крышки, нагруженного избыточным внутренним давлением.

Толщину стенки крышки рассчитываем по формулам (52)-(54) [2]:

,



где , R=D с Н=0,25D.



0,0146 м.



s1 = 14,6+0,5 = 15,1 мм

Принимаем толщину крышки s1 = 16 мм.

Допускаемое внутреннее избыточное давление рассчитаем по формуле (54) [2]:

1,5564 МПа



Проведем проверку на необходимость укрепления отверстия для штуцера.

Согласно формуле (26) [3]

0,1303 м



где Dp=2D=2∙2=4 м при х=0 согласно (5) [3].

Толщину стенки крышки, при которой не требуется укрепление отверстия, определим подбором:

0,5498 м.



Исполнительная толщина крышки аппарата принимается s1=25 мм.

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

2,4546 МПа



Согласно ГОСТ 6533-78 по таблице 7.2 [7] принимаем h1=60 мм.

Проведем проверочный расчет по п. 3.3.1.4. [2]:

0,8=0,8∙177,09>h1.



Согласно условиям п. 3.3.1.4. [2] принимаем толщину стенки 25 мм.

Расчет толщины стенки эллиптического днища, нагруженного избыточным наружным давлением.

Наружное избыточное давление принимаем равным атмосферному р=0,101 МПа, при абсолютном давлении внутри аппарата 0 МПа.

Толщину стенки днища рассчитываем по формулам (56)-(58) [2]

;



,



где Кэ=0,9 для предварительного расчета [2].

{0,0040;0,0009}=4,0 мм.



Дальнейший расчет проводим из условия толщины стенки s1=25 мм.

Определим допускаемое наружное давление по формуле (58) [2]:



где допускаемое давление [p]п из условия прочности:

2,73 МПа,



допускаемое давление [p]Е из условия устойчивости в пределах упругости:

3,73 МПа,



где Кэ=0,91,



0,18.



Допускаемое наружное давление:

1,78 МПа



Проверяем условие :



- условие соблюдается.



Принимаем эллиптическое днище с отбортовкой h1=60 мм толщиной стенки s1=25 мм по ГОСТ 6533-78.

1. **РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ СФЕРИЧЕСКОГО ДНИЩА**

**КОРПУСА**

Толщину стенки сферического днища корпуса, нагруженного внутренним избыточным давлением, рассчитываем по формуле:

,



Расчетная толщина стенки днища

0,0060 м



где R=0,5D с Н=0,25D; Р=р+ ρgh=1,47∙106+1000∙4,1∙9,81=1,51 МПа; р – давление внутри аппарата – 1,47 МПа, ρ=1000 кг/м3 – плотность воды при гидроиспытании аппарата, h=L1+L2+Lк+0,5D0=1200+1800+300+0,5∙1600=4100 мм.

Толщина стенки с надбавкой:

s1р = 6+0,5=6,5 мм;

Таким образом, по [4] принимаем толщину стенки 8 мм



Допускаемое внутреннее избыточное давление рассчитываем по формуле:



1,881 МПа



Проверяем условие :



- условие соблюдается.



В результате произведённых расчётов и полученной толщины сферического днища корпуса аппарата под внутренним давлением принимаем толщину сферического днища 8 мм.

Согласно ГОСТ 6533-78 по таблице 7.2 [7] принимаем длину отбортованной части днища h1=40 мм.

Проведем проверочный расчет по п. 3.3.1.4. [2]:

0,3=0,3∙32,86<h1.



Согласно условиям п. 3.3.1.4. [2] принимаем толщину стенки равной толщине обечайки, рассчитанной в п. 3.2 – 12 мм.

Расчет толщины стенки полусферического днища, нагруженного избыточным наружным давлением.

Наружное избыточное давление принимаем равным атмосферному р=0,101 МПа, при абсолютном давлении внутри аппарата 0 МПа.

Толщину стенки днища рассчитываем по формулам (56)-(58) [2]

;



,



где Кэ=1,0 для предварительного расчета [2].

{0,0018;0,0004}=1,8 мм.



Дальнейший расчет проводим из условия толщины стенки s1=12 мм.

Определим допускаемое наружное давление по формуле (58) [2]:



где допускаемое давление [p]п из условия прочности:

3,20 МПа,



допускаемое давление [p]Е из условия устойчивости в пределах упругости:

4,25 МПа,



где Кэ=1 [черт. 13; 2],

Допускаемое наружное давление:

2,04 МПа



Проверяем условие :



- условие соблюдается.



Принимаем полусферическое днище с отбортовкой h1=40 мм толщиной стенки s1=12 мм по ГОСТ 6533-78.

Проведем проверку на необходимость укрепления отверстия для штуцера.

Согласно формуле (26) [3]

0,3029 м



где Dp=2R=D=1,6 м (7) [3].

Исполнительная толщина днища аппарата принимается s1=12 мм.

1. **РАСЧЁТ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ**

**ОБЕЧАЕК РЕАКТОРА**

3.1. Расчет цилиндрической обечайки диаметром 2000 мм

Толщину стенки рассчитываем по формулам 8 и 9 [2]:

s ≥ sР+с

где



где sР – расчетная толщина стенки, мм;

p – внутреннее избыточное давление (в нашем случае оно равно давлению внутри аппарата p =15 кг/см2 = 1,47 МПа);

D – диаметр обечайки (D =2 м);

[σ] – допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;

φр – расчетный коэффициент прочности сварного шва.

Принимаем вид сварного шва – стыковой с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой. По табл.20 приложения 5 [2] найдем значение коэффициента прочности φр =1,0.

0,0132 м



s = 13,2+0,5 = 13,7мм

Принимаем толщину стенки s = 16 мм (см. п. 2).

Допускаемое избыточное внутреннее давление будет равным (формула 10 [2]):

1,72 МПа.



Определим допускаемое наружное давление по формуле 13 [2]:



где допускаемое давление из условий прочности определяем по формуле 14 [2]:

1,72 МПа



Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости определяем по формуле 15 [2]:



где , расчетная длина обечайки l=L1+l3эл+l3кон+L2+l3сф, ; 0,14м; ; l=2,0+0,167+0,14+1,8+0,267=4,374м



4,91



значит, выбираем B1 = 1.

0,398 МПа



0,388 МПа



Принимаем толщину стенки корпуса s=16мм.

Расчёт цилиндрической части корпуса нагруженной осевыми усилиями.

Толщина стенки обечайки нагруженной осевым растягивающим усилием должна соответствовать условию:



где 0,0066 м



Осевое растягивающее усилие:

4,62 МН.



Допускаемое осевое растягивающее усилие:



=10,82 МН ≥4,62 МН.

Условия s≥sp+c и [F]≥F выполняются.

Осевое сжимающее усилие рассчитываем по формуле (21) [2]:



Допускаемое осевое сжимающее усилие:

- из условия прочности (22) [2]

3,14∙(2+0,016-0,0005)∙(0,016-0,0005)∙112=10,99 МН



- в пределах упругости из условия устойчивости (23) [2]

[F]Е = min{[F]E1;[F]E2}

но при условии l/D=4,374/2,0=2,187<10 [F]Е = [F]E1 ,

тогда [F]E1 находим по формуле (24) [2]



51,91 МН



с учетом обоих условий по формуле (21) [2]:

=10,75 МН



Осевое сжимающее усилие – это усилие прижатия днища к обечайке атмосферным давлением, которое может быть рассчитано (Приложение 3 «Пример расчета аппарата»[5]):

F=0,25∙π∙(D+2s)2∙p=0,25∙3,14∙(2,0+2∙0,016)2∙0,101=0,33 МН

Так как обечайка корпуса при атмосферном давлении и отсутствия давления внутри аппарата работает под совместным действием наружного давления 0,1 МПа и осевого сжимающего усилия F, должно выполняться условие устойчивости:



Проверяем условие устойчивости:

0,29≤1



Устойчивость обечайки корпуса с толщиной стенки 16 мм выполняется.

Принимаем толщину стенки обечайки s=16 мм.

3.2. Расчет цилиндрической обечайки диаметром 1600 мм

Толщину стенки рассчитываем по формулам 8 и 9 [2]:

s ≥ sР+с

где



где sР – расчетная толщина стенки, мм;

p – внутреннее избыточное давление (в нашем случае оно равно давлению внутри аппарата p =15 кг/см2 = 1,47 МПа);

D – диаметр обечайки (D =1,6 м);

[σ] – допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа;

φр – расчетный коэффициент прочности сварного шва.

Принимаем вид сварного шва – стыковой с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой. По табл.20 приложения 5 [2] найдем значение коэффициента прочности φр =1,0.

0,0106 м



s = 10,6+0,5=11,1 мм

Принимаем толщину стенки s = 12 мм.

Допускаемое избыточное внутреннее давление будет равным (формула 10 [2]):

1,60 МПа.



Определим допускаемое наружное давление по формуле 13 [2]:



где допускаемое давление из условий прочности определяем по формуле 14 [2]:

1,60 МПа



Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости определяем по формуле 15 [2]:



где , расчетная длина обечайки l=L1+l3эл+l3кон+L2+l3сф, ; 0,14м; ; l=2,0+0,167+0,14+1,8+0,267=4,374м



4,08



значит, выбираем B1 = 1.

0,264 МПа



0,260 МПа



Принимаем толщину стенки корпуса s=12мм.

Расчёт цилиндрической части корпуса нагруженной осевыми усилиями.

Толщина стенки обечайки нагруженной осевым растягивающим усилием должна соответствовать условию:



где 0,0057 м



Осевое растягивающее усилие:

3,22 МН.



Допускаемое осевое растягивающее усилие:



=7,65 МН ≥3,22 МН.

Условия s≥sp+c и [F]≥F выполняются.

Осевое сжимающее усилие рассчитываем по формуле (21) [2]:



Допускаемое осевое сжимающее усилие:

- из условия прочности (22) [2]

3,14∙(1,6+0,012+0,0005)∙(0,012-0,0005)∙112=6,52 МН



- в пределах упругости из условия устойчивости (23) [2]

[F]Е = min{[F]E1;[F]E2}

но при условии l/D=4,374/1,6=2,73<10 [F]Е = [F]E1 ,

тогда [F]E1 находим по формуле (24) [2]



27,52 МН



с учетом обоих условий по формуле (21) [2]:

=6,34 МН



Осевое сжимающее усилие – это усилие прижатия днища к обечайке атмосферным давлением, которое может быть рассчитано (Приложение 3 «Пример расчета аппарата»[5]):

F=0,25∙π∙(D+2s)2∙p=0,25∙3,14∙(1,6+2∙0,012)2∙0,101=0,21 МН

Так как обечайка корпуса при атмосферном давлении и отсутствия давления внутри аппарата работает под совместным действием наружного давления 0,1 МПа и осевого сжимающего усилия F, должно выполняться условие устойчивости:



Проверяем условие устойчивости:

0,90≤1



Устойчивость обечайки корпуса с толщиной стенки 12 мм выполняется.

1. **РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ КОНИЧЕСКОЙ ОБЕЧАЙКИ**

**РЕАКТОРА И НЕТОРОИДАЛЬНОГО ПЕРЕХОДА**

4.1 Расчетные параметры

Расчетные длины для нетороидальных переходов (рис. 1) рассчитываем по формулам:

,



Рис. 1. Соединение цилиндрической и конической обечаек.

Расчетный диаметр гладкой конической обечайки с нетороидальным переходом

.



Расчетный коэффициент сварных швов по табл. 4 [2]



Толщина стенки конической обечайки



где



4.2. Толщина стенки нетороидального перехода

Толщина стенки перехода определяется по формуле (108) [2]

,



где [(109) 2].



Коэффициент β3 определяем по формуле (97) [2]



где коэффициент β=1,45 находим по черт. 27 [2] при условиях и 0,013;



Толщина стенки

0,020 м, тогда s2=20+0,5=20,5 мм.



Принимаем s1=s2=22 мм

Допускаемое внутреннее избыточное давление из условия прочности переходной части

1,65 МПа.



Допускаемое наружное избыточное давление из условия прочности переходной части

0,64 МПа.



где коэффициент β=3,75 находим по черт. 27 [2] при условиях и 0,001;



Условие прочности выполняется.

Расчетные длины нетороидального перехода

0,17 м



0,15 м



4.3. Толщина стенки конической обечайки



0,0171 м



1,832 м.



согласно условию =17,1+0,5=17,6 мм принимаем толщину стенки конической обечайки sк=0,018 м



Допускаемое внутреннее избыточное давление определяем по формуле (87) [2]

2,38 МПа



Согласно условиям п. 5.2.7 [2] принимаем толщину стенки нетороидольного перехода 22 мм.

Толщину стенки обечайки, нагруженную избыточным наружным давлением в первом приближении определяем по п. 2.3.2.1. [2] согласно п. 5.3.2.2. [2].

s ≥ sР+с,

где



Коэффициент К2=0,15 определяем по номограмме черт. 5 [2];

при 0,53; 0,12,



где 0,283 м,



=



=max{2,427; -10,851}=2,427м

max{0,004; 0,0012}=0,004 м.



Толщина стенки s ≥ sР+с=4+0,5=4,5 мм, исполнительная толщина стенки принимается s=22 мм

Допускаемое наружное давление определяем по формуле:

,



где допускаемое давление из условия прочности

1,84 МПа;



и допускаемое давление из условия устойчивости

,



10,43 МПа



где ,



86,11



значит, выбираем B1 = 1.

1,81 МПа



Толщина стенки конической обечайки, нагруженной осевыми усилиями

sк ≥ sкр+с

где sкр=0,0005 м.



Допускаемая осевая растягивающая сила (п.5.4.1.[2])

8,55 МН



Допускаемая осевая сжимающая сила (п. 5.4.2. [2])



где допускаемая осевая сила из условия прочности

14,82 МН



и допускаемая осевая сжимающая сила из условия устойчивости в пределах упругости



49,95 МН



где 2,772м.



Соединение обечаек без тороидального перехода

Допускаемая осевая растягивающая или сжимающая сила перехода из условий п.5.4.3.[2]



где коэффициент формы β5=max{1,0;(2β+1,2)}.

По диаграмме черт. 28 [2] β=1,5, тогда β5=2∙1,5+1,2=4,2

3,60053 МН.



Проверяем условие устойчивости:



0,11≤1



Устойчивость перехода с толщиной стенки 12 мм выполняется.

**5. РАСЧЕТ МАССЫ АППАРАТА И ПОДБОР ОПОР**

Массу аппарата определяем как массу корпуса аппарата и массу воды, заливаемой для гидравлического испытания аппарата.

* 1. Масса корпуса аппарата

5.1.1. Масса крышки со штуцером и фланцами

Площадь поверхности крышки Fк=4,71 м2 (табл. 7.2 [7]).

Мк=Fк∙s∙ρ=4,71∙0,025∙7850=924,34 кг

Массу штуцера и фланца принимаем 45 кг

Масса фланца крышки Мфк=(3,14∙2,1852∙0,1/4-3,14∙22∙0,1/4)∙7850=477,10 кг.

Общая масса М1=924+45+477=1446 кг

5.1.2. Масса обечайки диаметром 2000 мм

Мо2000=(3,14∙2,0322∙1,2/4-3,14∙22∙1,2/4)∙7850=954,09 кг.

Масса фланца обечайки Мфо= Мфк=477 кг

Общая масса М2=954+477=1431 кг

5.1.3. Масса конической обечайки

Мок=1185,64 кг



5.1.4. Масса обечайки диаметром 1600 мм

Мо800=(3,14∙1,6242∙1,8/4-3,14∙1,62∙1,8/4)∙7850=858,26 кг.

5.1.5. Масса днища со штуцером и фланцем

Площадь поверхности днища Fд=2,15 м2 (табл. 7.8 [7]).

Мд=Fд∙s∙ρ=2,15∙0,012∙7850=202,53 кг

Массу штуцера и фланца принимаем 20 кг

Общая масса М5=202+20=222 кг

Общая масса аппарата М=1446+1431+1186+858+222=5143 кг

5.2. Объем аппарата

5.2.1. Объем эллиптической крышки примем как объем сферической крышки

V1=2∙3,14∙13/3=2,09 м3

5.2.2. Объем обечайки диаметром 2000 мм

Vо2000=3,14∙22∙1,2/4=3,77 м3.

5.2.3. Объем конической обечайки

Vок=3,06 м3



5.2.4. Объем обечайки диаметром 1600 мм

Vо1600=3,14∙1,62∙1,8/4=3,62 м3.

5.2.5. Объем днища

V5=2∙3,14∙0,83/3=1,07 м3

V=2,9+3,77+3,06+3,62+1,07=14,42 м3

Масса воды Мв=14,42∙1000=14420 кг

Общая масса аппарата М=5143+14420=19563 кг

Принимаем округленно 20000 кг

5.3. Подбор опор аппарата

Сила с которой аппарат воздействует на опоры

Qо=20000∙9,81=196200 Н

Принимаем количество опор для аппарата - 4, тогда сила действующая на одну опору

Q=196200/4=49050 Н=49 кН

Согласно табл. 14.1 [7] принимаем опору типа 1 (лапа) с накладным листом по ОСТ 26-665-79.

Опора 1-6300 ОСТ 26-665-79 имеет следующие типоразмеры, мм

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Q, кН | а | а1 | b | с | с1 | h | h1 | s1 | K | K1 | d | dб | f |
| 63,0 | 185 | 230 | 230 | 60 | 130 | 360 | 24 | 12 | 35 | 70 | 35 | M30 | 60 |



#### Размеры накладного листа по ОСТ 26-665-79, мм



Н=490; В=300; с=24; sн=16.

Принимаем: Накладной лист 1-6300-16 ОСТ 26-665-79.

## Используемая литература

1. Конструкционные материалы: Справочник/Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.; ил.
2. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: Издательство стандартов,1989. - 79с.
3. ГОСТ 24755-89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий. – М.: Издательство стандартов,1989. - 79с.
4. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т.1. – Калуга: Издательство Н.Бочкаревой, 2002. -852 с.
5. Михалев М.Ф. и др. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи. - Л.: Машиностроение, 1984. -301 с.
6. К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии.Л.:Химия,1987.
7. Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1981. – 382 с., ил.
8. Смирнов Г.Г., Толчинский А.Р., Кондратьева Т.Ф. Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств. – Л.: Машиностроение, 1988. -303 с.