Содержание.

1. Исходные данные

2. Определение габаритных размеров резервуара

3. Определение толщин листов стенки

4. Конструирование и расчет днища

5. Расчет и конструирование элементов сферического покрытия

5.1 Установление габаритных размеров сферического покрытия

5.2 Сбор нагрузок на купол

5.3 Расчет радиального ребра купола

5.4 Расчет кольцевых элементов купола

Список используемой литературы

1. Исходные данные

Тип резервуара – вертикальный цилиндрический со стационарной крышей;

Емкость – 50000 тыс. м3;

Жидкость – мазут, ρж=1,0 т/м3;

Избыточное давление -



Вакуум -



Район строительства: I – снеговой и I – ветровой;

Резервуар относится к I классу опасности (γn=1,1);

Материал конструкций – спокойная сталь класса прочности С255 по ГОСТ 27772-88 без учета требований по ударной вязкости (Ry=24кН/см2 при t=10…20мм; Rу=23кН/см2 при t=21…40мм).

2. Определение габаритных размеров резервуара

Принимая Rwy = Ry = 24кН/см2, Δ=2,0см, γс=0,8 и γж=1,1 , находим



По табл. П1 [1] диаметр резервуара (при V=50000м3) больше 60м. Минимальная толщина стенки из конструктивных соображений по табл. 3.3 [1] tmin=10мм.

Найдем значения коэффициентов а1 и а2 уравнения;



Из уравнения получим Hопт=17,95м. Высоту корпуса (стенки) следует принять равной Н=18.0м.

Принимаем листы размером 2000×8000 мм (с учетом строжки 1990×7980 мм). Стенку компонуем из 9-ти поясов общей высотой Н=9×1,99=17,91 м.

Требуемая длина развертки стенки резервуара:



где Н1=Н-0,3=17,91-0,3-17,61 м – высота залива резервуара продуктом.

Монтаж стенки предполагается вести полистовым способом. Длину одного кольца стенки назначаем кратной длине листа. Количество листов в одном кольце



Примем nл=24 шт.

При этом фактическая длина развертки получится:



Фактический диаметр резервуара:



Фактический объем резервуара:



Расхождение с заданным объемом составляет



3. Определение толщин листов стенки

Вычисляем нагрузки от:

- крыши – по табл. П1 [1] gкр=5,08 кг/м3 на 1 м2 днища



- снега



- избыточного давления



- вакуума



- ветра на стенку (в виде условного вакуума)



где w0 - по табл. 2.3 [1]; се1= 0,5 для расчета стенки на устойчивость; k0 = 0.81 – по табл. 2.4 [1] для типа местности В

- ветра на покрытие (отсос)



где се2 =-0,6 при Н/D=18.0/60.96⋲1/3 по табл. на стр. 24 [5]

- гидростатического давления жидкости



Устанавливаем минимальную необходимую толщину верхнего пояса стенки.

По табл. 3.3 [1] при D>35м (D=60,96м) tk =10мм. Принимая минусовой допуск на прокат δ=0,5мм

для повышенной точности изготовления листового проката и припуск на коррозию с=0,1мм, получим



Принимаем tmin=11мм, tp,min=11,0-0,5-0,1=10,4мм.

Удельные нагрузки вертикального направления (при отсутствии утеплителя и учета веса стационарного оборудования) Р1 и кольцевого направления Р2



(без учета собственного веса верхней части стенки),

где ψ=0,9 – коэффициент сочетания нагрузок;



При ν=r/ tp,min=(30,48×102)/1.04=2,93×103 и

с=1,092×10-8×ν2-53,686×10-6×ν+12,59×10-2=

=1,092×10-8×2,932×106-53,686×10-6×2,93×103+12,59×10-2=6,23×10-2

По формуле (3.18) [1]



имеем:



Отсюда Hr/r=0,9048, а Hr=0,9048×30,48=27,6м.

По формуле (3.22) [1] определяем значение H\*.



Отсюда H\*=580см=5,8м. До верха стенки H0=H\*+30см=610см=6,1м, в пределах которой толщина стенки может быть постоянной и равной минимальной толщине.

Определяем минимальные расчетные толщины в низлежащей части стенки tc для условий эксплуатации, принимая zж,i=Нi-30см.



При H1=18м, zж,1=18,0-0,3=17,7м.



Принимаем t1=40мм.

При H2=16м, zж,2=16,0-0,3=15,7м.



Принимаем t2=32мм.

При H3=14м, zж,3=14,0-0,3=13,7м.



Принимаем t3=28мм.

При H4=12м, zж,4=12,0-0,3=11,7м.



Принимаем t4=25мм.

При H5=10м, zж,5=10,0-0,3=9,7м.



Принимаем t5=20мм.

При H6=8м, zж,6=8,0-0,3=7,7м.



Принимаем t6=16мм.

При H7=6м, zж,7=6,0-0,3=5,7м.



Принимаем t7=12мм.

Остальные толщины стенки должны быть не менее 11 мм.

Для определения фактической редуцированной высоты стенки следует толщины поясов стенки привести к расчетным, т.е. tip=ti-0,6мм.

Получим t1p=39,4мм; t2p=31,4мм; t3p=27,4мм; t4p=24,4мм; t5p=19,4мм; t6p=15,4мм; t7p=11,4мм; t8p=t9p=10,4мм.

Стенка состоит из 9-ти поясов (~2,0м – ширина пояса): 9×2,0=18,0м=H. Толщины 7-ми нижних поясов определены по прочности. Высота верхних 2-х поясов составляет 4м, что меньше H\*=5,8м. Следовательно, толщина верхних двух поясов может быть принята постоянной и равной минимальной.

Найдем фактическую величину редуцированной высоты стенки:



т.е. устойчивость верхней части стенки будет обеспечена.

Итак, имеем следующий набор номинальных толщин поясов стенки:

2×11+1×12+1×16+1×20+1×25+1×28+1×32+1×40 мм.

Таблица 1

Сводная таблица толщин листов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| t | Полученные, мм | Принятые, мм |
| t1 | 38,8 | 40,0 |
| t2 | 30,2 | 32,0 |
| t3 | 26,5 | 28,0 |
| t4 | 22,7 | 25,0 |
| t5 | 18,9 | 20,0 |
| t6 | 15,2 | 16,0 |
| t7 | 11,4 | 12,0 |
| t8 | - | 11,0 |
| t9 | - | 11,0 |

Следует заметить, что верхние 4 пояса могут быть изготовлены в виде рулонов, так как их толщина не превышает 16 мм.

Масса стенки составит:



4. Конструирование и расчет днища

Центральную часть днища конструируем из листов 1500×6000 мм толщиной 6мм в виде 4-х рулонируемых полотнищ. Для стенки при толщине нижнего пояса равной t1=40мм минимальная толщина листов окраек 16мм (табл 3.1 [1]). Примем толщину окраек 16мм и проверим их на изгибающий момент краевого эффекта. Вычислим значения параметров, входящих в уравнение для определения момента краевого эффекта М0

Коэффициент деформации стенки



где ν=0,3 – коэффициент Пуассона;

tp,1=40-0.6=39,4мм=3,94см.



Условный коэффициент постели стенки



Давление на днище



Коэффициент канонического уравнения (2.23) [1]



Свободный член канонического уравнения (2.23) [1]



Цилиндрическая жесткость окрайки днища



Полученные значения подставим в уравнение (2.23) [1]



Отсюда М0=14,52(кН×см)/см.

Требуемое расчетное сопротивление по пределу текучести для листов окраек по формуле:



где γс=1,0; γкр=1,2.

Величина отрыва днища от фундамента определяется по формуле (2.24) [1]



Если применить кольцевой железобетонный фундамент, то ширина кольца по верху должна быть более l=55,1см.

Днище располагается на кольцевых фундаментах из сборных железобетонных плит шириной 1,5 м и толщиной 0,5 м. В центре кольцевого фундамента – песчаная подушка.



Рис.1 Основание под фундамент

5. Расчет и конструирование элементов сферического покрытия

5.1 Установление габаритных размеров сферического покрытия

Назначаем стрелку подъема f и вычисляем радиус сферы купола (рис. 2)

Стрелка подъема купола f:



Радиус сферы:



Центральный угол сферы α определяется по формуле



отсюда α/2=18,92°, α=37,84°.

Длина дуги купола в вертикальной плоскости:



Половину дуги следует разделить на целое число ярусов щитов покрытия и выделить радиус верхнего центрального кольца. Примем длину щита по дуге окружности l0щ=10,0м, при этом радиус центрального кольца согласно рис. 2



которое уточняется после расчета радиальных ребер.



Рис.2 Схема ребристо-кольцевого купола

Определяем число щитов в одном ярусе, исходя из ширины щита по опорному кольцу b0=3,0…3,5м. Количество щитов в одном ярусе:



Примем nщ=64шт.

Купол собирается из трех типов трапециевидных щитов, изготовленных на заводе. Расчетными элементами купола являются:

- радиальные ребра;

- промежуточные кольца;

- опорное кольцо;

- настил.

Ширина щитов:

b0=3,0м;



5.2 Сбор нагрузок на купол

Нагрузки вертикального направления определяются по формулам

- направленные вниз



- направленные вверх



где wтот - нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на высоте z (до середины стрелки подъема купола) от уровня земли



По табл. 2.4 [1] для местности типа В коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте, имеет величину k0=0,85 при z=20м,



где w0=0,23 кН/м2 – для I ветрового района;

се2 =-0,6 при Н/D=1/3 [5];



знак «-» учтен направлением ветровой нагрузки на покрытие.

Имеем



так как q1 имеет отрицательное значение, то в дальнейшем расчете учитываются нагрузки, направленные только вниз.

Комбинация нагрузок горизонтального направления на верхнюю часть резервуара (0,4Н):

- нагрузки, вызывающие сжатие опорного кольца купола в виде активного давления ветра и вакуума, определенные по формуле (3.48) [1]:



где wт=w0×k0×с=0,23×0,738×0,5=0.085кН/м2,

коэффициент k0 находится на высоте z=0,8×H=0,8×18,0=14,4м;

k0=0,738.



- нагрузки, вызывающие растяжение опорного кольца: ветровой отсос и избыточное давление по формуле 3.49 [1]



где wт=w0×k0×с=0,23×0,738×1,0=0,17кН/м2, с=1,0;



Вертикальная сосредоточенная нагрузка на узел пересечения радиального ребра с кольцом определяется по формуле 3.50 [1]:

для 1-го кольца при r1=10,947м:

- направленная вниз:



для 2-го кольца при r1=20,849м:

- направленная вниз:



5.3 Расчет радиального ребра купола

Наиболее напряженным будет радиальное ребро между опорным и вторым кольцами. Расчетная схема радиального ребра купола изображена на рис.3



Рис.3 Расчетные схемы радиального ребра купола на нагрузки:

а) горизонтальную; б) вертикальную; в) местную.

Найдем углы наклона касательной с осью x в уровнях опорного кольца (x1=0) и 2-го кольца (х2=9,615м) (см. рис.2) по формуле 3.54 [1]:



α0=18,93°;



α2=12,8°;

Вычислим α1 в уровне 1-го кольца при х1=19,517м.



α1=6,7°;

Для опорного радиального ребра средний угол наклона касательных



то же для ребра между 2-м и 1-м кольцами



Интенсивность нагрузки на опорное радиальное ребро:



Продольные сжимающие усилия в опорном ребре:



где l3=9,615м – см рис. 2

Суммарное продольное сжимающее усилие в опорном ребре определяется по формуле (3.51) [1]



Найдем наибольшее значение изгибающего момента в опорном ребре от распределенной нагрузки рис. 4



Рис.4 Схема загружения опорного ребра распределенной нагрузкой

Левая опорная реакция



Найдем положение сечения с наибольшим изгибающим моментом по формуле (3.52) [1]



где Δq=qp,1-qp,2=5,34-3,56=1,78 кН/м.

Максимальное значение изгибающего момента в этом сечении



где



Радиальные ребра конструируем из двух прокатных швеллеров (рис. 5) из стали марки ВСт3пс6-1 (Rу=24кН/см2).

Ребро работает на внецентренное сжатие.

Считаем, что настил приваривается к радиальным и поперечным ребрам щитов, тем самым обеспечивается устойчивость ребра. Поэтому радиальное ребро будем рассчитывать только на прочность.



Рис.5 Сечение радиального ребра

Высоту сечения ребра принимаем из условия hp=l3/40=961,5/40=24,0см.

Принимаем ребро в виде двух швеллеров №24У (Ашв=30,6см2; Wx=242,0см3).



Проверим принятое сечение радиального ребра на другую комбинацию нагрузок (q1 и W1), вызывающих растяжение.

Продольные растягивающие напряжения в ребре:



Суммарное продольное растягивающее усилие в ребре определяется по формуле:



Поскольку интенсивность распределенной нагрузки направленной вверх, меньше интенсивности нагрузки, направленной вниз, то проверку на прочность ребра по растягивающим усилиям проводить на следует.

Уточним радиус центрального кольца rк,ц из условия закрепления в нем радиальных ребер щитов из двух швеллеров №24У (b=90мм). Учитывая, что ширина двух полок швеллера 2×90=180мм; толщина промежуточного ребра tp=10мм; зазор – 5мм, ширина опирания ребра составит bцк=180+10+5=195мм. Тогда радиус центрального кольца



Длина щита верхнего яруса уменьшится и составит:



Радиальные ребра вышележащих ярусов щитов испытывают меньшие нагрузки: Vi и qp. Поэтому можно оставить сечение радиальных ребер постоянным из двух швеллеров №24У.

5.4 Расчет кольцевых элементов купола

а) Опорное кольцо

Распор, передаваемый на опорное кольцо со стороны радиального ребра, определяется по формуле (3.55) [1]



где ctgα0=1/tgα0; tgα0=0,3429



Изгибающие моменты и продольные усилия, вызываемые распорами, определяются при нагрузке сверху вниз q на купол:

- момент под радиальным ребром



- момент между радиальными ребрами



- продольное усилие (растягивающее)



Дополнительные продольные усилия и изгибающие моменты в опорном кольце:

- от избыточного давления на 0,4Н стенки



- от вакуума на 0,4H стенки



- от ветровой нагрузки на 0,4H стенки по формуле (3.59) [1]



где γf,в=1,4; ce1=0,6; w0=0,23кН/м2; sin36°=0,588.

Коэффициент k0 следует определять для середины 0,4H стенки, т.е. на высоте



k0=0,738 при z=14,4м.

В результате подстановки имеем



По формуле (3.63) [1]



где c’e1=1,0 (см. рис. 3.22 [1]); sin45°=0,707.

Имеем



Изгибающие моменты по формуле:



Усилие в кольце от ветрового отсоса на покрытие резервуара



где ψ=0,9 – коэффициент сочетания нагрузок;

γf,от=1,4; w0=0,23кН/м2;

k0=0,85 и ce2=-0,6;



Распор от ветрового отсоса, передаваемый через радиальные ребра



где ctgα0=1/tgα0=1/0,3429; α0=18,93°.

Изгибающие моменты в опорном кольце от ветровых распоров Pот:



Продольное усилие



Результаты определения усилий в опорном кольце от нагрузок приведены в табл.2

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вертикальные нагрузки на покрытие – вниз q | | | Вакуум на 0,4Н стенки | Вертикальные нагрузки на покрытие – вверх q1 | | |
| 1 | | | 2 | 3 | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| -59,1 | 29,4 | 2411 | -2,6 | - | - | - |

Продолжение таблицы 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Избыточное давление на 0,4Н стенки | Ветер на 0,4Н стенки | | | Ветровой отсос на покрытие | | |
| 4 | 5 | | | 6 | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| 79 | ±556,3 | -18,4 | 36,9 | 4,9 | -2,5 | -200,7 |

Таблица 3

Номера загружения и расчетные усилия в сечениях опорного кольца

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Усилия | Нагрузки (из табл. 2) | | |
| 1+2 | 3+4+5+6 | 1+2+5+6 |
|  | 29,4 | 561,2 | 590,6 |
|  | -59,1 | -558,8 | -617,9 |
|  | 2411 | -84,8 | 2244,6 |

Размеры указанные на (рис. 6) получены способом последовательных приближений. Для опорного кольца принята сталь марки ВСт3пс6 (Ry=24 кН/cм2 при t≤20 мм).

В сечение опорного кольца необходимо учесть часть стенки резервуара высотой:



Рис.6 Сечение опорного кольца

При этом площадь сечения кольца составляет:

А = 90,0×0,8+2×2,0×30,0+19,5×1,1=213,5 см2.

Момент инерции сечения кольца относительно вертикальной оси y-y:



Момент сопротивления:



Проверка сечения на прочность осуществляется по формуле:



где N=2244,6 кН; Мy = 617,9 кН×м

Положительное значение момента Му принято потому, что для симметричного сечения противоположные волокна будут иметь равные по величине и обратные по знаку нормальные напряжения. При положительном моменте нормальные напряжения от продольной силы и момента будут одинакового знака:



прочность опорного кольца обеспечена.

Устойчивость кольца в своей плоскости будет обеспечена за счет опирающихся на него щитов и листов кровли (настила).

б) Промежуточное кольцо

Рассмотрим расчет кольца, смежного с опорным (рис. 7).



Рис.7 К расчету промежуточного 2-го кольца

Продольное усилие в элементе 2-го кольца определяется по формуле 3.64 [1]:



Подставляя эти значения, имеем:



Принимая условие, что настил приваривается к кольцам, определяем требуемое сечение кольца из условия прочности по формуле:



Если предположить, что настил приварен к кольцам, то сечение кольца определяется из условия устойчивости по формуле 3.65 [1]:



Законструируем кольцо по второму варианту, когда настил не приварен к кольцам (рис. 8). Ширину кольца можно определить по требуемому инерции Jк,тр задавшись толщиной.



Рис.8 Сечение промежуточного 2-го кольца

Момент инерции сечения кольца относительно вертикальной оси y-y:



сечение кольца достаточно для обеспечения его устойчивости.

Площадь сечения кольца А=3×70+2×20=250см2, что значительно больше требуемого сечения кольца из условия прочности, равного 33,1 см2. Поэтому целесообразно настил приваривать к кольцам, если это возможно по конструктивным соображениям.

в) Центральное кольцо

Радиус центрального кольца определен в п. 6.3 и составляет rк,ц=1,986 м.

Центральное кольцо воспринимает распоры со стороны радиальных ребер от вертикальных нагрузок (рис. 9).



Рис.9 К расчету центрального кольца

Распор радиального ребра:



Поскольку радиальные ребра расположены часто по периметру центрального кольца, то приведем нагрузку на кольцо к равномерно распределенной по оси кольца:



Продольное сжимающее усилие в центральном кольце определяется по формуле:



Настил приваривается к центральному кольцу, что обеспечивает его устойчивость. Поэтому требуемое сечение кольца установим по прочности:



Сечение центрального кольца конструируем в виде сварного двутавра (рис. 10)



Рис.10 Сечение центрального кольца

Высота сечения стенки двутавра (205 мм) принимается равной высоте прокатного швеллера № 20 (радиального ребра) и плюс 5 мм на зазор.

Фактическое сечение центрального кольца

Ац = 1,0×20,5+2×2,0×20,0=100,5 см2 > Атр,ц =63,44 см2.

Принятое сечение центрального кольца завышено с учетом того, что при неравномерной нагрузке на купол кольцо дополнительно будет испытывать кручение.

6. Список литературы

1. Г.А. Нехаев. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2005.-216 с.
2. Металлические конструкции / под ред. Н.С. Стрелецкого, - 3-е изд. – М.: Госиздат., 1961.-776 с.
3. Металлические конструкции / под ред. Е.И. Беленя, - 6-е изд. – М.: Стройиздат., 1985.-560 с.
4. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции. Нормы проектирования. – М: ЦИТП, 1991. 96 с.
5. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия. – М: Министерство строительства Российской Федерации, 1996. 43 с.