

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ ЕМКОСТЬЮ 5 ТЫС. М³

DESIGN AND CALCULATION RESERVOIR WITH A CAPACITY OF 5 THOUSAND CUBIC METERS

*Бойко А.В.;(Одесская государственная академия строительства
и архитектуры)*

Boiko O.V.; (Odessa State Academy of Building and Architecture)

Конструктивное решение

Резервуары емкостью 5 тыс. м³ выполняются, как правило, наземными. Обычно их устанавливают на специально подготовленной песчаной подушке, покрытой гидрофобным слоем.

Основными элементами такого резервуара являются стенка (корпус), днище и крыша (покрытие) выполняемые из листовой стали. Эксплуатационное оборудование резервуара состоит из арматуры (устройства для налива, замера и выпуска жидкости, предохранительных клапанов) и приспособлений для очистки и осмотра (лестниц, светового и замерного люков, лазов).

В резервуарах такой вместимости толщина стенки переменна по высоте. В данном случае толщина стенки находится в пределах от 8мм (верхние пояса) до 14 мм (нижний пояс).

Высота корпуса $h = 18\text{м}$. Внутренний радиус корпуса $r = 9,75\text{м}$.

Так как днище резервуара опертое на основание, от давления жидкости испытывает незначительные напряжения, его не рассчитывают и толщину принимают по конструктивным соображениям с учетом удобства и надежности выполнения сварных соединений и сопротивляемости коррозии $t=6$ мм из листов размером 1500х6000 мм. Крайние листы (окрайки) приняты $t=12$ мм. Длина полотнища включает припуски по 720 мм для образования монтажного стыка.

Листы полотнища днища соединяются между собой по продольным кромкам внахлестку, выполняется встык. Короткие швы, с помощью которых листы соединяются в полосы, выполняются встык. Соединение средней части с крайками осуществляется внахлестку. Днище изготавливается на заводе в виде сварных полотнищ

и доставляется на строительную площадку рулонами. Масса рулона должна быть не более 60 т. После раскатки рулонов днища на подготовленном основании монтажный стык приходится делать внахлестку, поскольку подварка стыкового шва с обратной стороны днища невозможна.

Стенка резервуара состоит из ряда поясов высотой, равной ширине листа. Сопряжения листов в каждом поясе делаются встык. Пояса между собой могут соединяться встык.

Сопряжение встык применяется только при изготовлении стенки на заводе. Сопряжение поясов внахлестку выполняется как при изготовлении на заводе, так и на монтаже. При сборке стенки из отдельных поясов на монтажной площадке более удобным оказывается телескопическое расположение поясов, позволяющее наружные горизонтальные кольцевые швы делать нижнем положении. В этом случае вертикальные швы на смежных поясах делаются в разбежку.

В нынешнее время разработан и широко применяется способ строительства резервуаров методом рулонирования.

Стенка сваривается из стальных листов размером 1500x6000 мм (после строжки кромок - 1490x5980 мм), поэтому высота стенки или ширина полотнища должна быть кратна ширине листов, а длина полотнища - длине листов. При необходимости добавляется вставка равная 0,5 или 0,25 длины листа.

Стенка резервуара уровне днища крепится к фундаменту с помощью фундаментных болтов.

В замыкающем монтажном стыке должна быть предусмотрена нахлестка краев рулонов по 100 мм в каждую сторону от оси стыка. Лишняя нахлестка перед сваркой обрезается.

Крыша резервуара сборная коническая, состоящая из 20 щитов.

Расчет стенки на прочность

Дополнительные коэффициенты перегрузок и условий работы, не содержащиеся в ДБН:

для избыточного давления и вакуума $n_2=1,2$;

при расчете подъема стенки резервуара от избыточного давления и отсоса от ветровой нагрузки $n_3=0,9$;

при расчете стенок на прочность $\gamma=0,8$;

при расчете стенок на устойчивость $\gamma=1$; при расчете сопряжения стенок с днищем и других зон краевого эффекта $\gamma_k=1,6$.

Стенка резервуара рассчитывается на прочность по безмоментной теории как цилиндрическая оболочка, работающая на растяжение от действия гидростатического давления жидкости и избыточного давления газа. Расчетное давление на глубине x от дна резервуара равно:

$$P_x = \gamma_{ж}(h-x)n_1 + P_u n_2$$

где:

$n_1 = 1,1$ — коэффициент перегрузки для гидростатического давления;

$n_2 = 1,2$ — коэффициент перегрузки для избыточного давления в паровоздушной смеси; в данной работе принимается, что избыточное давление не появляется.

$\gamma_{ж}$ — удельный вес жидкости. Поскольку удельный вес нефтяных и масляных продуктов меньше чем воды, то расчет ведется для 1 гидростатического испытания резервуара от веса воды;

тогда

$$\gamma_{ж} = 1 \text{ т/м}^3$$

В цилиндрической оболочке кольцевые напряжения в 2 раза больше меридиональных, поэтому можно определить толщину цилиндрической стенки корпуса резервуара на расстоянии x от дна по формуле:

$$t = [n_1 \gamma_{ж}(h-x) + P_u n_2] r_2 / \gamma R^{CB}$$

где

$$R^{CB} = 215 \text{ МПа} = 21916 \text{ т/м}^2$$

-толщина стенки корпуса на расстоянии 1,5 м от дна:

$$t = 1,1 \cdot 1(18-1,5) \cdot 9,75/0,8 \cdot 16819 = 0,013 \text{ м}$$

- толщина стенки корпуса на расстоянии 4,5 м от дна:

$$t = 1,1 \cdot 1(18-4,5) \cdot 9,75/0,8 \cdot 16819 = 0,011 \text{ м}$$

-толщина стенки корпуса на расстоянии 6 м от дна:

$$t = 1,1 \cdot 1(18-6) \cdot 9,75/0,8 \cdot 16819 = 0,0096 \text{ м}$$

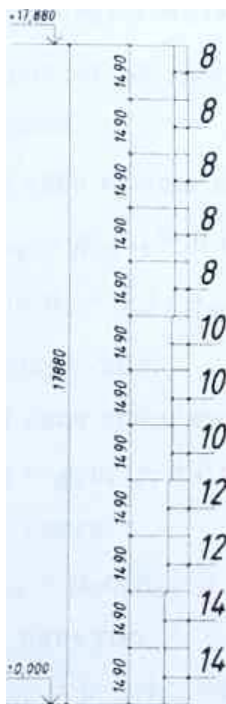
-толщина стенки корпуса на расстоянии 7,5 м от днища:

$$t=1,1 \cdot 1(18-7,5) \cdot 9,75/0,8 \cdot 16819=0,0084\text{м}$$

-толщина стенки корпуса на расстоянии 9 м от днища:

$$t=1,1 \cdot 1(18-9) \cdot 9,75/0,8 \cdot 16819=0,007\text{м}$$

Верхние пояса предварительно принимаем толщиной 8 мм.
Унифицирую толщину поясов стенки резервуара:



Прогиб стенки (радиальное перемещение) на уровне 6 м от днища определяется по нормативному давлению по формуле

$$y=\Delta r=[\gamma_{ж}(h-x)+P_u]r_2^2/Et=Pr_2^2/Et=P/k$$

$$y=\Delta r= 1(18-6) \cdot 9,75^2/2,1 \cdot 10^7 \cdot 0,01=0,0054\text{м}=5,4\text{мм}$$

Расчет стенки на устойчивость

Верхние пояса стенок корпуса резервуара в результате расчета на прочность имеют сравнительно небольшую толщину, поэтому необходимо проверять их на устойчивость при определенных сочетаниях нагрузок: вес покрытия и стенки с установленным технологическим оборудованием и теплоизоляцией, снеговая и ветровая нагрузки, избыточное давление и вакуум.

Устойчивость стенки незаполненного резервуара проверяется на совместное действие равномерного сжатия вдоль образующих и поперечного сжатия внешним равномерным давлением по формуле

$$\sigma_1/\sigma_{кр2}+\sigma_2/\sigma_{кр2}\leq 1$$

Продольные сжимающие напряжения в стенке возникают от следующих нагрузок;

1) веса крыши и установленного на ней оборудования

$$P_{кр} = g_{кр}n_1 = 0,035 \cdot 1,1 = 0,0385 \text{ т/м}^2$$

Где

$$n_1 = 1,1;$$

$g_{кр} = 0,035 \text{ т/м}^2$ - принимают в зависимости от объема резервуара:

2) веса теплоизоляции на крыше

$$P_i = g_i n_i = 0,036 \cdot 1,2 = 0,043 \text{ т/м}^2$$

3) снега

$$P_{сн} = p_{ок} c_1 n_{сн} = 0,102 \cdot 1 \cdot 1,4 = 0,143 \text{ т/м}^2$$

4) вакуума

$$P_{вак} n_{вак} = 0,025 \cdot 1,2 = 0,03 \text{ т/м}^2$$

Где

$$P_{вак} = 0,25 \text{ кПа};$$

$$n_{вак} = 1,2;$$

5) ветровой нагрузки на боковую поверхность корпуса резервуара, создающей отсос на крыше и вызывающей продольные растягивающие напряжения в стенке резервуара

$$P_v = q_0 c_2 n_v = 0,051 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 0,033 \text{ т/м}^2$$

6) веса стенки с учетом теплоизоляции на рассматриваемом уровне (низ самого нижнего из наиболее тонких листов стенки)

$$P_{ст} = \gamma_{ст} i t h_n n_1 + g_i h_n i n_i = 7,85 \cdot 4 \cdot 0,008 \cdot 1,5 \cdot 1,1 + 0,036 \cdot 1,5 \cdot 4 \cdot 1,2 = 0,67 \text{ т/м}^2$$

Таким образом, суммарные продольные напряжения в стенке от действующих нагрузок равны:

$$\sigma_1 = [P_{кр} + P_{г} + n_c(P_{сн} + P_{вак} - P_{в})](r_2/2t) + P_{ст}/t =$$

$$= [0,0385 + 0,043 + 0,9 \cdot (0,143 + 0,03 - 0,033)] \cdot (9,75/2 \cdot 0,008) + 0,67/0,008 = 210,2$$

$$\text{т/м}^2$$

Кольцевые сжимающие напряжения в стенке возникают от следующих нагрузок:

1) Ветровой нагрузки, которая принимается равномерно распределенной по окружности резервуара. Действие ветровой нагрузки на стенку заменяется действием условного вакуума

$$P_{в} = 0,5q_0 n_b k = 0,5 \cdot 0,051 \cdot 1,2 \cdot 2,25 = 0,069 \text{ т/м}^2$$

2) Вакуума

$$P_{вак} = p_{вак} n_{вак} = 0,025 \cdot 1,2 = 0,03 \text{ т/м}^2$$

Тогда суммарные кольцевые напряжения в стенке от действующих нагрузок равны:

$$\sigma_2 = (P_{в} + P_{вак})(n_c r_2 / t) =$$

$$= (0,069 + 0,03) \cdot (0,9 \cdot 9,75 / 0,006) = 3,03 \text{ т/м}^2$$

Если в результате расчета по условию $\sigma_1 / \sigma_{кр} + \sigma_2 / \sigma_{кр2} \leq \gamma$ требуется значительно увеличить толщину стенки t , то оказывается целесообразным установить промежуточные кольца жесткости (от одного до трех), повышающие критические напряжения $\sigma_{кр2}$.

$$\sigma_{кр1} = cEt/r_2 = 0,8 \cdot 2,1 \cdot 10^7 / 9,75 = 13786 \text{ т/м}^2$$

$$\sigma_{кр2} = 0,55E(r_2/l)(t/r_2)^{3/2} = 32025 \text{ т/м}^2$$

$$l = 18 - 0,33 \cdot 18 = 12,1 \text{ м}$$

$210,2/13786 + 3,03/32025 < 1$ - условие выполнено - усиление ребрами жесткости не требуется.

Напряжения и деформации тонкостенных оболочек, определяемые по безмоментной (мембранной) теории, имеют достаточно точные для прикладных целей значения лишь в зонах, удаленных от мест сосредоточенного изменения геометрических и статических параметров оболочки (форма, размеры, жесткость), а также от мест резкого изменения силовых воздействий.

На участках, называемых местами возникновения краевого эффекта, кроме усилий, напряжений и деформаций, определяемых по безмоментной теории, возникают еще дополнительные краевые усилия, напряжения и деформации, носящие название краевого эффекта.

Вследствие упругого сопротивления соседних с местами возникновения краевого эффекта частей замкнутой круговой оболочки краевой эффект не распространяется далеко, а действует лишь на сравнительно узкой зоне, распространяясь в ее пределах быстро затухающими волнами.

Физические причины возникновения краевого эффекта:

- а) стесненность свободы деформации оболочки, отвечающих мембранным напряжениям;
- б) передом или эксцентриситет образующих, что приводит при осимметричной нагрузке к возникновению местных сил, распределенных по окружности оболочки в виде проекций меридиональных усилий на плоскость, нормальную к ее оси, или моментов от эксцентриситета;
- в) сосредоточение сил или моментов на окружности, а также разрыв непрерывности силовых воздействия в смежных направляющих окружностях (при этом в рассматриваемых осимметричных случаях силовые воздействия по окружности распределены равномерно).

Возникновение краевого эффекта может быть обусловлено появлением как одной из этих причин в отдельности, так и любых их сочетаний.

Список использованной литературы

1. Горев В.В. Металлические конструкции (том3 Спциальные конструкции и сооружения),2002.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования.- Киев: Минстрой Украины, 2006.
3. Е.Н.Лессинг, Ф.Ф.Лилеев, А.Г.Соколов. Листовые металлические конструкции.- М.: Издательство литературы по строительству, 1970.