

## РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНОГО УТОРНОГО ШВА РЕЗЕРВУАРА РВС- 30000

*Г.Р. Зиякаев, к.т.н., доц.,  
Е.О. Куклин, студент гр. 2БМ05  
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,  
E-mail: [eok8@tpu.ru](mailto:eok8@tpu.ru)*

В Российской Федерации эксплуатируется значительное количество резервуаров, предназначенных для операций по сбору, хранению, а также осуществления технологических переключений и учета нефти и нефтепродуктов. Несмотря на то, что технология изготовления таких резервуаров отработана достаточно давно, риск возникновения дефекта в сварном соединении остается достаточно высоким.

Высокий уровень напряжений, несоблюдение технологии и режима изготовления при строительстве значительным образом сказываются на технологических свойствах соединения. Поиск соответствующих технологических решений, направленных на улучшение характеристик изготавливаемого оборудования, является актуальной задачей отечественного нефтегазового комплекса.

В узле сопряжения стенка - днище возникает краевой эффект, приводящий к появлению изгиба оболочек, от изгибающих моментов, поперечных сил и дополнительных меридиональных и кольцевых усилий. Изгибающие напряжения суммируются с меридиональными и кольцевыми напряжениями. Расчетная схема приложения нагрузок, используемая для расчета методом сил, приведена на рисунке 1.

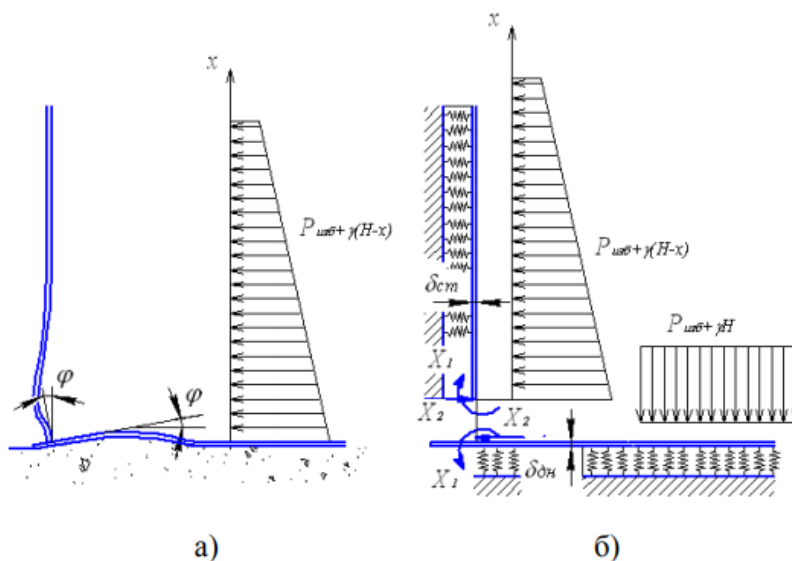


Рисунок 1. - Расчетная схема приложения нагрузок для узла сопряжения стенки резервуара и днища, решаемая методом сил

а) исходная система – совместная деформация стенки и днища; б) основная система для расчета нижнего узла методом сил

В зоне уторного сварного соединения за счет лимитирования радиальных деформаций стенки и днища возникает совместное действие изгибающего момента и поперечной силы. Узел соединения стенка - днище является статически неопределимым, и для ее раскрытия используется метод сил. Система уравнений представляет собой две статически определимые системы, которые образованы путем мысленного разделения стенки и днища в точке сопряжения. Далее производится решение двух статически определимых систем.

В систему уравнений вводятся дополнительные усилия неизвестной величины ( $X_1$  – изгибающий момент,  $X_2$  – поперечная сила). Решением системы уравнений, основным условием которой является условие совместности перемещений стенки и днища в точке сопряжения, определяются величины введенных неизвестных. Все перемещения элементов

горизонтальной плоскости от действия внешней нагрузки, момента и поперечной силы принимаются равными нулю. Система уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} (\delta_{11}^{ст} + \delta_{11}^{дн}) \times X_1 + \delta_{12}^{ст} \times X_2 + \Delta_{1p}^{ст} + \Delta_{1p}^{дн} = 0 \\ \delta_{21}^{ст} \times X_1 + \delta_{22}^{ст} \times X_2 + \Delta_{2p}^{ст} = 0 \end{cases}$$

де  $\delta_{ij}^{ст}$ ,  $\delta_{ij}^{дн}$  - единичные перемещения стенки и днища от единичного момента  $X_1$  и единичной силы  $X_2$ ;

$\Delta_{ip}^{ст}$ ,  $\Delta_{ip}^{дн}$  - единичные перемещения стенки и днища от внешних нагрузок.

Анализ результатов расчета приведен в Таблице 1.

Таблица 1 - Результаты расчета напряженно-деформированного состояния угловых швов таврового соединения стенка-днище резервуаров для нескольких типоразмеров резервуаров, выполненных из стали 09Г2С

Уторный узел	УУ-1	УУ-2	УУ-3	УУ-4	УУ-5
Толщина днища $S_d$ , мм	9	9	9	14	16
Толщина стенки $S_{ст}$ , мм	9	10	13	22	28
Результаты аналитического расчета, МПа	245	262	284	186	174

Разработана численная модель уторного сварного соединения вертикального стального резервуара, позволяющая определять напряженно-деформированное состояние узла в процессе эксплуатации резервуара. Получены значения максимальных эквивалентных напряжений для исследуемых типоразмеров уторных узлов. Проведена верификация предложенной модели путем сравнения с результатами, полученными по существующим методам аналитического расчета напряженно-деформированного состояния уторного узла.

**Список литературы:**

1. Винокуров В.А., Куркин С.Л., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности. М.: Машиностроение, 1996. 576 с;
2. Мушанов В. Ф., Роменский Д. И. Исследования напряженнодеформированного состояния уторного узла в вертикальных цилиндрических резервуарах объемом 10000...50000. Журнал «Металлические конструкции». 2012. Т. 18. № 1. С. 61 – 71.
3. Востров В.К., Катанов А.А. Расчет напряжений и перемещений в уторном узле и крайках днища резервуара. Монтажные и специальные работы в строительстве № 8. 2006. С. 22 – 26.