

Айнабеков А.И., Сулейменов У.С., Ешимбетов Ш.Т., Сералиев Г.Е.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОНТАЖНОГО СТЫКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА С УЧЕТОМ НЕСОВЕРШЕНСТВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

УДК: 624.953: 043

В статье описано методика учета геометрических несовершенств в виде угловатости при определении кольцевых напряжений в зоне монтажного стыка вертикального цилиндрического резервуара. Предлагаемая методика расчета позволяет наиболее точно учесть упругопластическую работу материала стенки в зоне стыка.

Метод изготовления резервуаров из рулонных заготовок, который обладает огромными преимуществами (индустриальность изготовления, большая скорость возведения резервуаров, перенос большого объема сварочных работ на завод), первоначально применялся для возведения резервуаров небольших объемов и позволил снизить сроки и стоимость возведения резервуаров. Однако при применении его для строительства крупных резервуаров, метод имеет ряд недостатков, которые существенно снижают эффективность его применения:

- большое количество рулонов при возведении резервуаров объемом более 10000 м³, что приводит к увеличению количества монтажных швов;
- трудность транспортировки рулонов непосредственно к месту монтажа, а также перемещения их в пределах строительной площадки;
- трудоемкий процесс разворачивания рулона, при котором кромки рулонов неизбежно повреждаются, что приводит к значительному искажению формы резервуаров, особенно в зоне вертикального монтажного шва (рис.1).
- возникновение дополнительных напряжений в зоне монтажного стыка в результате искажения геометрической формы (рис. 2) и необходимость разработки инженерных методов расчета указанной зоны.

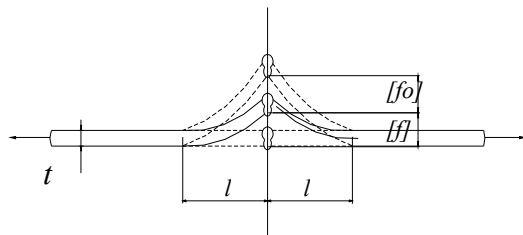


Рис.1 Схема изменения положения стыка при наполнении-опорожнении резервуара

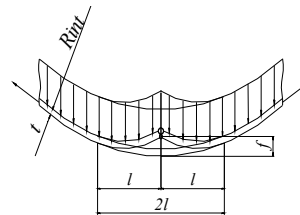


Рис. 2 Схема нагружения стенки резервуара с несовершенством в виде угловатости

Отсутствие четкой инженерной методики учета дополнительных напряжений в околошовной зоне, а также многочисленные противоречия в применяемых методиках вызывает острую необходимость разработки новой уточненной методики, которая не повторяла бы их недостатков.

Существующие методики [1,2,3] основаны в основном на идеализированной диаграмме Прандтля, которая не дает точных расчетных данных, так как предполагает, что материал работает только до значения предела текучести. Вместе с тем их практическое применение ограничено малоуглеродистыми сталями с площадкой текучести 2-2,5%. При использовании этих методик для низколегированных сталей они приводят к значительным неточностям, в связи с малой площадкой текучести и изменением модуля деформации. Если учесть что именно низколегированные стали, широко применяются в резервуарах, то эта проблема остается весьма актуальной.

Так в [3] предлагается расчет концентрации напряжений в стыке по формуле:

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 \pm 6 \frac{f}{t} \right) \quad (1)$$

где $\sigma_0 = \frac{pr}{t}$ - номинальное напряжение в стенке резервуара идеальной формы; f – стрелка западания стыка; t – толщина стенки.

Формула (1) носит эмпирический и весьма примитивный характер. Так, при $f = \frac{t}{6}$ напряжения в стыке увеличиваются почти в два раза.

Единственно общим для всех методик расчета монтажного стыка является определение максимальных напряжений в стыке и сравнение ее с номинальными напряжениями в стенке.

При разработке методики расчета монтажного стыка резервуара с несовершенствами в виде угловатости за базовую примем методику довольно подробно описанную в работе [3]. Указанная методика построена на оценке величины действующих в зоне стыка напряжений и учете несовершенств через коэффициент условий работы стыка.

В предлагаемой методике вместо идеализированной диаграммы Прандтля используется реальная диаграмма растяжения и учитывается упруго-пластическая работа материала стенки резервуара.

При этом используется формула из работы [4] для определения упругопластического момента полосы в виде

$$I = \frac{Mt\xi}{2\sigma_T} = I_0 \left\{ \beta + \frac{3}{2}(1-\beta)\xi \left[1 - \left(\frac{\varphi\xi}{\xi + \beta(1-\xi)} \right)^2 - \frac{\xi^2}{3} \right] \right\}, \quad (2)$$

где $M = N(f - \omega_y - \omega_n)$ - момент относительно сжатой кромки полосы, ω_y - упругий прогиб стыка, ω_n - прогиб вызванный пластической деформацией, $N = \sigma_T \psi t$, ψ - параметр нагрузки, равный $\psi = th 3,7^{\frac{2}{3}}$, $\xi = \frac{3-B}{2}$ - относительная высота упругого сечения, $B = \left(\frac{6M}{Nt} \right) \left[\frac{\varphi}{1-\varphi} \right]$, $I_0 = \frac{1 \cdot t^3}{12}$ - момент инерции сечения упругой полосы.

С учетом вышеприведенных формул и стандартных прочностных расчетов вертикальных цилиндрических резервуаров приведем порядок определения напряжений в околошовной зоне монтажного стыка стенки:

- для рассчитываемого пояса резервуара назначаются толщина t , предел текучести σ_T (при нормативном расчете можно принять равным расчетному сопротивлению стали R_y) и стрела угловатости стыка f в пределах рассчитываемого пояса стенки резервуара;

- определяется значение высоты налива h_1 ;

- определяется величины номинальных кольцевых напряжений в стенке в пределах рассчитываемого пояса по формуле $\sigma_1 = \frac{(\gamma_{фжс} \rho_{жс} h_1 + \gamma_{фп} P_u) r}{t_1}$

где $\gamma_{фжс} > \gamma_{фп}$ - назначается по СНиП 3.03.01-87 [5];

- определяются параметры φ , ξ и B для данного уровня основных кольцевых напряжений в стенке;

- назначив значение β в пределах $\beta = 0 \dots 1,5$, по формуле (2) определяем значения упругопластического момента I ;

- определяются относительные деформации в зоне стыка ε по выражению:

$$\varepsilon = \frac{I_0}{I} (1 - \varphi^2) (3 - 2) \sigma_T;$$

- по диаграмме растяжения устанавливается модуль упругости стали E ;

- определяются напряжение в околошовной зоне стыка σ_m и коэффициент концентрации напряжений

$$K = \frac{\sigma_m}{\sigma_1}.$$

Для апробации указанной методики, а также для изучения распределения напряжений в зоне монтажного стыка были проведены испытания крупномасштабной модели с геометрическим несовершенством в виде угловатости (рис. 3)



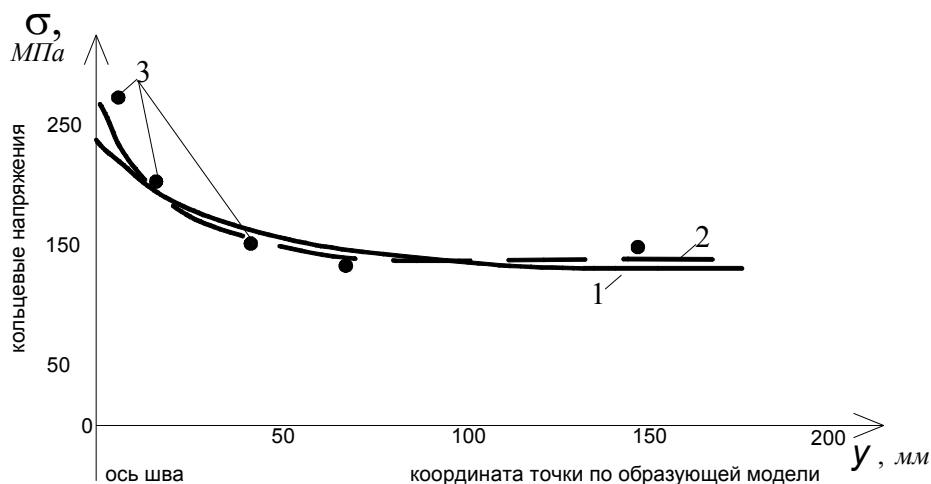
Рисунок 3. Общий вид модели подготовленный к испытаниям.

Исследуемая модель представляет собой уменьшенную копию монтажного соединения резервуара объемом 2000 м^3 , выполненного в масштабе 1:10. Основные геометрические размеры модели смоделированы на основе простого механического подобия между моделью и натурным объектом, с применением метода анализа размерностей физических величин [6]. Габаритные размеры модели составляют $1200 \times 850 \times 550$ мм. Монтажный стык сформирован из двух свальцованных по радиусу 1520 мм и сваренных встык листов стали ВСт3сп, толщиной 2 мм. Несовершенство стыка в виде западания во внутрь смоделирована гнутьем по радиусу 30 мм для образования угловатости. Торцы модели изготовлены из металлических пластин толщиной 4 мм. Физико-механические характеристики стали определены газообъемным методом по ГОСТ 27069-86 и испытаниями стандартных образцов по ГОСТ 1497-84.

Относительные деформации в околошовной зоне измерялись тензометрическими средствами измерения. Первичными преобразователями служили тензодатчики на фольговой основе базой 10 мм. В качестве регистрирующей аппаратуры служил тензометрический комплекс ЦТМ-5.

Прогиб стыка фиксировался с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм, которые устанавливались на кронштейнах из гнутого двутавра в четырех сечениях.

Результаты расчетов кольцевых напряжений по вышеуказанной методике и с использованием программно-вычислительного комплекса ЛИРА-9.4 в сравнении с данными экспериментальных исследований приведены на рисунке 4.



1 – по предлагаемой методике; 2 – по численному методу;
3 – экспериментальные точки

Рисунок 4. Кольцевые напряжения в зоне монтажного стыка модели цилиндрического резервуара

По результатам расчета с использованием предлагаемой методики, численных исследований на базе программного комплекса ЛИРА 9.4 и испытаний модели с геометрическим несовершенством формы в зоне монтажного стыка сделан вывод о том, что учет упругопластической работы и реальной диаграммы растяжения стали позволяет получить несколько раз меньшие расчетные значения концентрации напряжений, по сравнению с существующими методиками. Значения напряжений, полученные расчетом по предлагаемой методике, близки со значениями, полученными численными расчетами и экспериментальными исследованиями.

Литература:

1. Почтовик П.Г. Малоцикловая усталостная прочность металлических резервуаров нефтеперекачивающих станций: автореф. ... дис. канд. техн. наук.-М., 1998.-22с.
 2. Никиреев В.М. К расчету цилиндрических резервуаров, имеющих угловые несовершенства. Строительная механика и расчет сооружений, 1986, №2, с. 12-16.
 3. Карташов В.А., Колосков А.Д., и др. Влияние геометрических несовершенств и особенностей эксплуатации на работу некоторых видов листовых конструкций.- Отчет о НИР, № ГР 01840041600. Саранск, 1986 г.- 86 с.
 4. Туркин В.С. Изгиб и калибровка труб с упругопластическим деформированием металла// Расчет конструкций, работающих в упругопластической стадии: Сб. трудов ЦНИИСК., Вып.7-М., 1961.-с.197-238.
 5. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции// Госстрой СССР.-М.: Стройиздат, 1985.-40 с.
 6. Шаповалов Л.А. Моделирование в задачах механики элементов конструкций.- М.:Машиностроение, 1990,-287с.
-