

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ РЕЗЕРВУАРА ПРИ ДЕФЕКТАХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

М. А. Тарасенко, П. Ф. Сильницкий, А. А. Тарасенко
(Тюменский государственный нефтегазовый университет)

Ключевые слова: *сквозной дефект, резервуар вертикальный стальной (РВС),*
Keyword: *through defect, vertical steel reservoir*

Сегодняшнее состояние резервуарных парков РФ характеризуется большим количеством длительно эксплуатирующихся резервуаров. На таких объектах в результате проведенной диагностики выявляется наличие различного рода дефектов. Установлено [1], что наиболее часто встречаются дефекты коррозии, сварки и дефекты геометрической формы. Ранее авторами получены зависимости между геометрией дефектов и координатами их возникновения вдоль конструкции. Коррозионные повреждения чаще всего встречаются в районе 1-го пояса стенки и уторного шва. Анализ показал, что наибольшее количество коррозионных дефектов концентрируется вблизи уторного шва, а на расстоянии 20 см от него почти не встречается, а также оценена вероятность их возникновения. Следует отметить, что данная зависимость имеет высокую достоверность в виду представительности выборки обследованных резервуаров. Обследования были выполнены аттестованными специалистами, поверенным оборудованием, в аккредитованной лаборатории неразрушающего контроля.

Наличие недопустимых дефектов говорит о необходимости безотлагательного проведения ремонтов. Однако бывает так, что упомянутые дефекты коррозии выявляются при частичной диагностике, когда резервуар не выводится из эксплуатации. Осуществление ремонта при этом во многих случаях технологически невозможно ввиду отсутствия свободных ёмкостей в резервуарном парке. В таком случае возникает необходимость определения условий эксплуатации резервуара с момента обнаружения дефекта до возможного момента проведения ремонта. Располагая полученной ранее информацией о месте расположения и величине дефектов металлоконструкций в вероятностной постановке, возникла необходимость оценить степень «возмущений», которые вносит наличие дефектов в общую картину напряженно-деформированного состояния резервуара при эксплуатации.

Исследуя влияние таких дефектов, следует представить стенку РВС (резервуара вертикального стального) в виде металлической пластины. Учитывая малую кривизну оболочки, такое допущение не повлияет на точность вычислений. Рассмотрим самый неблагоприятный случай со сквозным повреждением стенки резервуара, принимая во внимание, что стенка резервуара подвержена двухосному напряжению, задача формулируется как расчет напряжений вблизи отверстия в стенке резервуара, подверженной воздействию вертикальной и горизонтальной нагрузки, непрерывно распределенной по её внешнему контуру (рис.1).

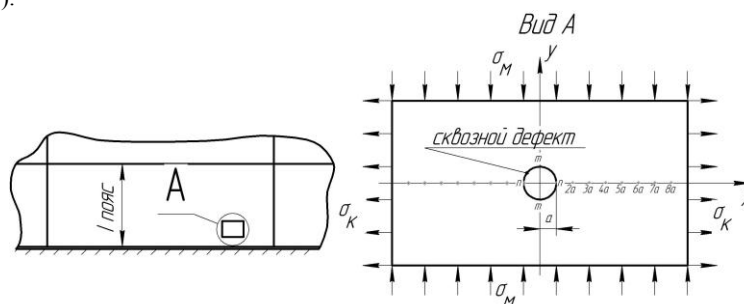


Рис. 1 Схема нагрузок, действующих в I поясе стенки резервуара:

σ_m — действующие меридианальные напряжения; σ_k — действующие кольцевые напряжения; a — радиус отверстия; nn — горизонтальный разрез; mm — вертикальный разрез

Подобная задача рассматривалась в трудах С.П. Тимошенко [2,3], однако, граничные условия, введенные автором, не позволяя применить предложенный алгоритм расчета для крупногабаритных резервуаров.

Используя данные технической диагностики резервуаров, входящих в выборку [4], определим среднее значение действующих напряжений в стенке резервуара в пределах 1-го пояса [3], используя формулы (1) и (2):

$$\sigma_k = \frac{[g \cdot \rho \cdot (H_n - z) + P_u] \cdot R}{t_i}, \quad (1)$$

где σ_k — кольцевые напряжения;

$$\sigma_m = \frac{Q_m + \psi_d \cdot (Q_0 + Q_y + Q_{вак}) + \psi_k \cdot S}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot t_i}, \quad (2)$$

где σ_m — меридиональное напряжение пояса.

По результатам расчета среднее значение действующих напряжений ($\sigma_{экр}$) для 10 РВС-20000 при среднем уровне взлива нефти 11,5 м составило 18,1 МПа.

Взяв какую-либо точку в поперечном сечении оси x (см. рис. 1 и рис. 2) на расстоянии r от центра отверстия, найдем из точечной теории [5], что нормальное напряжение в этой точке таково:

$$\sigma_n = \frac{\sigma}{2} \left(2 + \frac{a^2}{r^2} + 3 \frac{a^4}{r^4} \right), \quad (3)$$

где σ — суммарные кольцевые и меридианальные напряжения.

Переходя к аналитическому решению поставленной задачи, найдем значения эквивалентных напряжений на некотором расстоянии до центра отверстия (таблица).

Величина эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$ на расстоянии r от центра отверстия

r	1а	2а	3а	4а	5а	6а
$\sigma_{экв}$	3σ	$1,21875 \cdot \sigma$	$1,07410 \cdot \sigma$	$1,0371 \cdot \sigma$	$1,0224 \cdot \sigma$	$1,0108 \cdot \sigma$

Используя данные (см.таблицу), построим первую кривую распределения эквивалентных напряжений вблизи отверстия (рис.2).

Отметим, что в выборку входят резервуары, выполненные только из стали 09Г2С с пределом прочности $\sigma_b^{09Г2С}=48\text{МПа}$. На границе дефекта достигаются максимальные нормальные напряжения (см. табл.1, рис.2, поз.1), равные $3\sigma_{экв}$, что превышает значение предела прочности для данной стали.

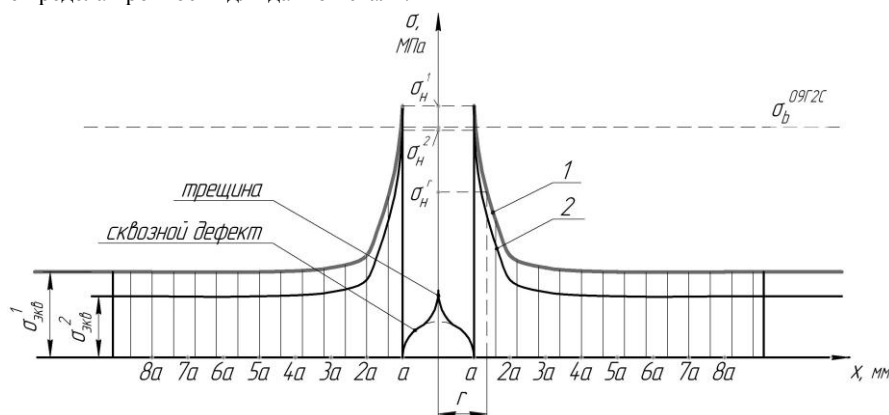


Рис.2. Диаграмма распределения эквивалентных напряжений вблизи отверстия:

1 – кривая затухания нормальных напряжений для заполненного РВС с уровнем взлива 11,5 м;
 2 – кривая затухания нормальных напряжений для заполненного РВС с уровнем взлива 10,5 м;
 σ_H^1 – максимальные нормальные напряжения для заполненного РВС с уровнем взлива 11,5 м;
 σ_H^2 – максимальные нормальные напряжения для для заполненного РВС с уровнем взлива 11,5 м;
 $\sigma_b^{09Г2С}$ – предел прочности для стали 09Г2С; σ_H^r – значение нормальных напряжений на расстоянии r от центра отверстия; $\sigma_{экв}^1$ – эквивалентные напряжения, действующие в стенке резервуара для 1-й диаграммы; $\sigma_{экв}^2$ – эквивалентные напряжения, действующие в стенке резервуара для 2-й диаграммы

При этом на границе $тт$ дефекта (см. рис.1) вероятно образование трещины, дальнейшее развитие которой можно спрогнозировать по уравнению Инглиса [2] (4) и из условия роста трещины (5):

$$\sigma_{тр} = \sigma_H (1 + 2\sqrt{l/r_m}); \quad \sigma_{тр} \geq \sigma_b, \quad (4,5)$$

где $\sigma_{тр}$ – главное напряжение в вершине трещины; l – длина трещины; r_m – радиус вершины трещины.

Изменение условия эксплуатации резервуара позволит избежать дальнейшего развития дефекта. Этого можно достичь снижением эксплуатационных нагрузок конструкции, а именно уменьшением уровня взлива, при котором максимальные нормальные напряжения, возникающие на границах сквозного дефекта, будут находиться ниже значения предела прочности стали. Тогда распределение нормальных напряжений, возникающих вблизи сквозного дефекта, будет описываться согласно позиции 2 (см. рис.2). Применительно к представленной выборке, снижение уровня взлива составит 1 м (до 10,5 м).

Исследовав влияние сквозного дефекта 1 пояса стенки резервуара на напряженно-деформированное состояние резервуара, можно сделать следующие выводы:

- концентрация напряжения имеет местный характер и ограничивается непосредственной близостью к границе дефекта;
- значения напряжений, возникающих при наличии сквозного дефекта с учетом эксплуатационных нагрузок, превышают предел прочности стали, в результате чего на границе дефекта может начаться развитие трещины;
- применение описанного алгоритма позволяет описать характер распределения напряжений вблизи сквозного дефекта и обосновать изменения значений эксплуатационных нагрузок в целях повышения безопасности эксплуатации;
- в представленном подходе рассматривается наиболее неблагоприятный случай наличия сквозного дефекта, таким образом, полученные результаты включают запас прочности, что позволяет выбирать условия эксплуатации резервуара на межремонтный период.

Список литературы

1. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. – М.: БСТ, 1990. - 14 с.
2. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов. Том 1. Элементарная теория и задачи. (2-е изд.) - М.: Наука, 1965. – 403 с.
3. Тимошенко С. П. Сопротивление материалов. Том 2. Более сложные вопросы теории и задачи. (2-е изд.) - М.: Наука, 1965. – 473 с.
4. Тарасенко М. А., Сильницкий П. Ф., Тарасенко А. А. Анализ результатов дефектоскопии коррозионных повреждений резервуаров // Известия вузов. Нефть и газ. – Тюмень, 2010, №5. – С. 78-82
5. Тимошенко С. П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 220 с.
6. ГОСТ 19281-89*. Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия / Министерство металлургии СССР. – М: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 12 с.

Сведения об авторах

Тарасенко М. А., аспирант, кафедра «Сооружение и ремонт нефтегазовых объектов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, тел.: (3452) 41-70-25

Сильницкий П. Ф., аспирант, кафедра «Сооружение и ремонт нефтегазовых объектов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, тел.: (3452) 41-70-25

Тарасенко А. А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Детали машин», Тюменский государственный нефтегазовый университет, тел.: (3452) 20-07-90

Tarascenko M. A., postgraduate student, Department «Construction and Maintenance of Petroleum Field Facilities», Tyumen State Oil and Gas University, phone: (3452) 41-70-25

Silnitsky P. F., postgraduate student, Department «Construction and Maintenance of Petroleum Field Facilities», Tyumen State Oil and Gas University, phone: (3452) 41-70-25

Tarasenko A. A. Doctor of Technical Sciences, Head of Department «Machine elements», Tyumen State Oil and Gas University, phone: (3452) 20-07-90