

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ СТЕНОК ВЕРТИКАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРОВ ПРИ СЛИВО-НАЛИВОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Д.А. Аристов – магистр, Д.Е. Молочников – к.тех.н., доцент
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, г. Ульяновск, Россия, e-mail: denmol@yandex.ru

Аннотация. В статье предлагается методика расчета деформации стенок вертикального резервуаров при сливо-наливочных операций. Рассмотрены вопросы длительности и режима нагружения и разгрузки резервуара, а так же долговечность резервуара для выполнения одного цикла нагружения.

Ключевые слова: метод расчета деформации стенок, резервуар, деформация, нагружение.

В качестве емкостного оборудования, используемого для хранения нефти и нефтепродуктов, применяются резервуары. Наибольшей популярностью пользуются цилиндрические резервуары.

Наиболее распространенными на нефтебазах являются вертикальные цилиндрические резервуары. К таким относятся резервуары низкого давления со щитовым коническим или сферическим покрытием [1].

Резервуары снабжаются гидравлическими клапанами, обеспечивающими снижение потерь топлива при так называемых «дыханиях» резервуаров. Это явление заключается в периодическом вытеснении в атмосферу находящейся в верхней части резервуара газовой смеси при повышении температуры (днем) и налив топлива и поступлении в резервуар атмосферного воздуха при понижении температуры (ночью) и сливе топлива.

Резервуарные парки являются значимым структурным элементом топливно-энергетического комплекса, гарантируют равномерность загрузки нефтеперерабатывающих заводов и компенсации неравномерности приема-отпуска нефти на границах технологических участков.

Операция заполнения и слива вертикальных резервуаров характеризуется переменным процессом деформации его стенок. Значение величины деформации стенки резервуара при нагружении не совпадает с обратной деформацией при разгрузке, образуя площадь петли гистерезиса. Петля гистерезиса выражает накопление энергии в материале и, в зависимости от длительности действия изменяет свою площадь, тогда затраты энергии на деформацию материала резервуара при единичном нагружении можно представить в виде [2, 3].

$$J(\sigma) = \kappa_n \mu_{\sigma, \varphi} A_c V_m, \quad (1)$$

где κ_n коэффициент пропорциональности;

$\mu_{\sigma, \varphi}$ - масштабный коэффициент по напряжению и углу изгиба элемента;

A_c - площадь петли гистерезиса;

V - объем рассматриваемого элемента резервуара.

Приведенный к наиболее тяжелому режиму нагружения ресурс резервуара представим в виде [4].

$$R_i = J(N_{\text{и}})_{\text{пр}} / k_i = J(N_{\text{и}})_{\text{пр}} / \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k_i} \right)^m, \quad (2)$$

где $J(N_{\text{и}})_{\text{пр}}$ - приведенная затраченная энергия на деформацию стенок резервуара на наиболее тяжелом режиме (при максимальном заполнении резервуара).

Длительность режима нагружения и разгрузки резервуара, связанная с деформацией отдельных элементов $J(N_{\text{и}})_0$ можно определить из уравнения кривой изменения накопленной энергии в зависимости от количества циклов (длительности действия) $J(N_{\text{и}})_0^{*m} t_0 = J(N_{\text{и}})_i^{0^{*m}} t_i$ (рисунок 1) [1, 5].

Подставив в это уравнение $k_{J_0} J(N_u)_o = J(N_u)_o^*$ и $k_i J(N_u)_i = J(N_u)_i^{0*}$, получим:

$$t_i^o = t_o \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m.$$

Приведенное время нагружения на наиболее тяжелом режиме с накопленной энергией в материале определяется выражением:

$$T_{\Theta} = t_o + \sum_{i=1}^n t_i^0 = t_o \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]. \quad (3)$$

Из условия исчерпания ресурса R_i детали следует соотношение:

$$T_{\Theta} = t_o \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right] = R_i = \frac{J(N_u)_{np}}{\sum_{i=1}^T \left(\frac{1}{k_i} \right)^m} \quad (4)$$

откуда можно определить предельное время работы t_{np} на наиболее тяжелом режиме нагружения с учетом других факторов:

$$t_{np} = R_i \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]^{-1}. \quad (5)$$

Долговечность резервуара для выполнения одного цикла нагружения и разгружения можно представить как сумму отдельных этапов эксплуатации резервуара:

$$\sum t = t_n + t_c + t_x + t_{\delta m}, \quad (6)$$

где $\sum t$ – суммарная наработка или продолжительность нагружения от начала до окончания цикла разгружения, ч.;

t_n – время налива топлива, ч.;

t_c – время слива, ч.;

t_x – время хранения топлива в резервуаре, ч.;

$t_{\delta m}$ – время нахождения резервуара без топлива, ч.

Предельное число циклов заполнения и опорожнения за долговечность резервуара $r = T / t_n$.

Продолжительность режимов заправки за время исчерпания ресурса:

$$T = T_{\Theta np} \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]^{-1}, \quad (7)$$

где $T_{\Theta np} = J(N_u)_{np} / \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m$ – приведенное эквивалентное время на режиме заправки.

Принимая во внимание предельное число режимов заполнения и опорожнения резервуара, суммарная наработка за r циклов заправки резервуара топливом:

$$\sum tr = r(t_n + t_c + t_x + t_{\delta m}). \quad (8)$$

Разделив обе части равенства (8) на произведение $|t_n r| = T$ и подставив значение T из выражения (7), с учетом высоты налива h получим:

$$\sum tr = \frac{T_{\Theta np}}{1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m} \left[1 + \frac{h}{t_n} \right]. \quad (9)$$

Продолжительность налива и слива топлива для заданного объема приблизительно постоянны, соответственно, отношение h/t_n можно заменить постоянной величиной «С».

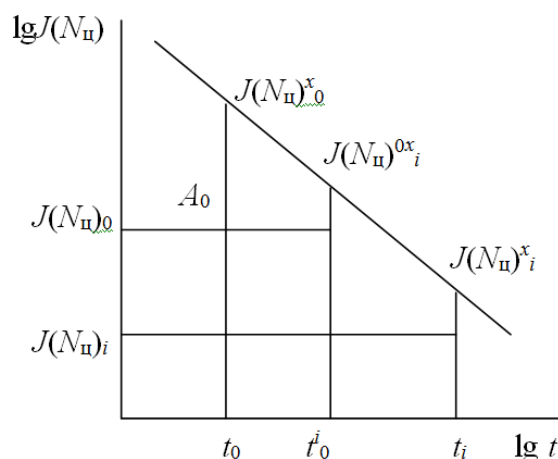


Рисунок 1. Схема вычисления эквивалентных режимов нагружения стенок резервуара

Учитывая, что время хранения топлива в резервуаре зависит от величины полного объема резервуара V_p и скорости наполнения v_n того объема топливом, получим выражения для суммарной наработки в зависимости от параметров резервуара и прочностной характеристики материала, названное «оптимальным эксплуатационным ресурсом», в виде:

$$\sum tr = \frac{T_{э.п.}}{1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m} \left[1 + \frac{V_p}{t_n \dot{v}_n} + C \right] \quad (10)$$

Величина снижения ресурса, эквивалентного полному нагружению резервуара можно представить:

$$R_{э.п.} = \frac{\sum t_{o.н.}}{1 + \frac{V_p}{\dot{v}_n} + C} \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m \right], \quad (11)$$

где $\sum t_{o.н.}$ - общее время работы резервуара под нагрузкой на данный момент.

Если связать сопротивление материала при нагружении с площадью поперечного сечения элемента, а при разгрузке с моментом сопротивления опасного сечения, то в качестве меры повреждения можно применять отношение площадей петли гистерезиса до начала появления микротрещин к номинальным площадям при базовом числе циклов.

Библиографический список

1. Яковлев С.А., Молочников Д.Е. Повышение долговечности емкостей для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом увеличением их жесткости при ремонте // Ремонт. Восстановление. Модернизация. №2, 2019. С. 46-48.
2. Молочников Д.Е., Яковлев С.А., Голубев С.В., Сотников М.В., Козловский Ю.В. Прогнозирование ресурса вертикальных резервуаров // Достижения техники и технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, 15 ноября 2018. – Ульяновск: Ульяновский ГАУ. 2018. С. 309-313.
3. Молочников Д.Е., Мустякимов Р.Н., Голубев В.А., Козловский Ю.В., Пальмов М.Ю. Особенности коррозии вертикальных резервуаров для нефтепродуктов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: материалы Национальной научно-практической конференции. Том II. Димитровград, ТИ - филиал УлГАУ. 2018. С. 215-220.
4. Яковлев С.А., Замальдинов М.М., Молочников Д.Е., Дудиков М.Ю. Способы повышения жесткости емкостей для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом // Достижения техники и технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, 15 ноября 2018. – Ульяновск: Ульяновский ГАУ. 2018. С. 355-360.

5. Молочников Д.Е., Яковлев С.А., Мустякимов Р.Н. Прогнозирование ресурса вертикальных резервуаров для нефтепродуктов при циклическом нагружении // Материалы Всероссийской научно-практической конференции посвящённой 40-летию со дня организации студенческого конструкторского бюро (СКБ), Рязань, 11 февраля 2020 года. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2020. С. 63-67.