



Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев
Ульяновский государственный аграрный университет
имени П.А. Столыпина

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ РЕЖИМЫ НАГРУЖЕНИЯ СТенок РЕЗЕРВУАРА

В статье рассматривается математическая модель деформации стенок вертикального резервуара при сливно-наливных операциях. Рассмотрены вопросы длительности и режима нагружения и разгрузки резервуара, а также долговечность резервуара для выполнения одного цикла нагружения.

Резервуар, деформация, нагружение, цикл, ресурс.

Резервуарные парки являются значимым структурным элементом топливно-энергетического комплекса, они 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 [1, 4]

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

где κ_n – коэффициент пропорциональности;

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

A_z – площадь петли гистерезиса;

V_m – объем рассматриваемого элемента резервуара.

Приведенный к наиболее тяжелому режиму нагружения ресурс резервуара представим в виде [7]

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

где $J(N_u)_{np}$ – приведенная затраченная энергия на деформацию стенок резервуара на наиболее тяжелом режиме (при максимальном заполнении резервуара).

Длительность режима нагружения и разгрузки резервуара, связанную с деформацией отдельных элементов $J(N_u)_0$, можно определить из уравнения

кривой изменения накопленной энергии в зависимости от количества циклов (длительности действия) $J(N_u)_0^{*m} t_0 = J(N_u)_i^{0*m} t_i$ (рис.) [6, 8].

Подставив в это уравнение $k_{J_0} J(N_u)_0 = J(N_u)_0^*$ и $k_i J(N_u)_i = J(N_u)_i^{0*}$, получим $t_i^0 = t_0 \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m$.

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

$$T_{\Sigma} = t_0 + \sum_{i=1}^n t_i^0 = t_0 \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]. \quad (3)$$

Из условия исчерпания ресурса R_i детали следует соотношение

$$T_{\Sigma} = t_0 \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right] = R_i = \frac{J(N_u)_{np}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k_i} \right)^m}, \quad (4)$$

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 разгрузки 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 разгрузки, 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 истощения ресурса [2, 3]

$$T = T_{\text{э.п.р.}} \cdot \left[1 + \sum_1^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]^{-1}, \quad (7)$$

где $T_{\text{э.п.р.}} = J(N_{\text{ц}})_{\text{нр.}} / \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m$ – приведенное эквивалентное время на режиме заправки.

Принимая во внимание предельное число режимов заполнения и опорожнения резервуара, суммарная наработка за r циклов заправки резервуара топливом [8]

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

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

$$\sum tr = \frac{T_{\text{э.п.р.}}}{1 + \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m} \left[1 + \frac{h}{t_n} \right]. \quad (9)$$

Продолжительность налива и слива топлива для заданного объема резервуара приблизительно постоянны, соответственно, отношение h/t_n можно заменить постоянной величиной «С» [5, 9]. Учитывая, что время хранения топлива в резервуаре зависит от величины полного объема резервуара V_p и скорости

наполнения \dot{v}_n этого объема топливом, получим выражения для суммарной наработки в зависимости от параметров резервуара и прочностной характеристики материала, названное «оптимальным эксплуатационным ресурсом», в виде

$$\sum tr = \frac{T_{\text{э.п.р.}}}{1 + \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m} \left[1 + \frac{V_p}{t_n \dot{v}_n} + C \right]. \quad (10)$$

Величину снижения ресурса, эквивалентного полному нагружению резервуара, можно представить

$$R_{\text{э.п.р.}} = \frac{\sum t_{\text{о.н}}}{1 + \frac{V_p}{\dot{v}_n} + C} \left[1 + \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m \right], \quad (11)$$

где $\sum t_{\text{о.н}}$ – общее время работы резервуара под нагрузкой на данный момент.

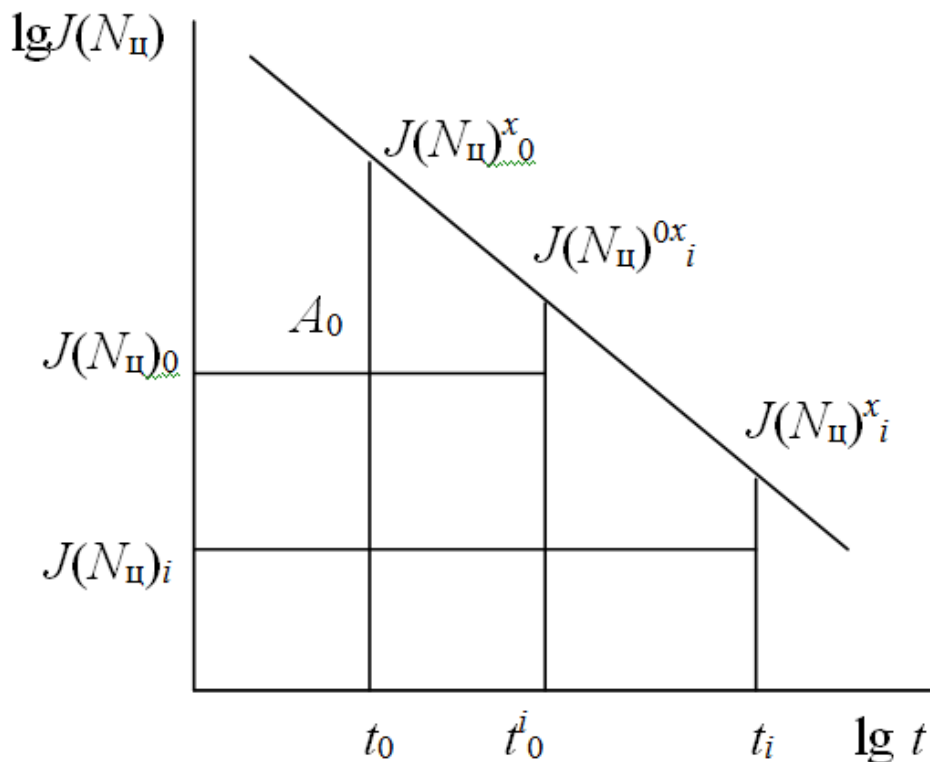


Рис. Схема вычисления эквивалентных режимов нагружения стенок резервуара

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 нагружения – разгрузки.

Литература

1. Герасименко, А. А. Оценка остаточного ресурса стального вертикального резервуара по критерию малоциклового усталости металла в условиях двухосного нагружения / А. А. Герасименко, Г. Х. Самигуллин // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – № 1. – С. 33–36.

2. Кошечкин, М. В. Прогнозирование ресурса стенки стальных вертикальных резервуаров при малоцикловом нагружении / М. В. Кошечкин, Т. А. Гарипов // Научный обозреватель. – 2012. – № 5. – С. 49.

3. Мурзаханов, Г. Х. Методика диагностирования и оценки остаточного ресурса стальных вертикальных резервуаров / Г. Х. Мурзаханов // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 1. – С. 42–47.

4. Особенности коррозии вертикальных резервуаров для нефтепродуктов / Д. Е. Молочников, Р. Н. Мустякимов, В. А. Голубев [и др.] // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения : материалы Национальной научно-практической конференции. – Димитровград, 2018. – Т. 2. – С. 215–220.

5. Повышение долговечности емкостей для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом

увеличением их жесткости при ремонте / С. А. Яковлев, Д. Е. Молочников // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – № 2. – С. 46–48.

6. Прогнозирование ресурса вертикальных резервуаров / Д. Е. Молочников, С. А. Яковлев, С. В. Голубев [и др.] // Достижения техники и технологий в АПК : Материалы Международной научно-практической конференции (Ульяновска, 15 ноября 2018 г.). – Ульяновск : Ульяновский ГАУ, 2018. – С. 309–313.

7. Сайфуллина, Л. Р. Особенности расчета стенки резервуара на прочность / Л. Р. Сайфуллина, Н. И. Садыков, Д. А. Русских // Вестник современных исследований. – 2018. – № 11 (26). – С. 551–554.

8. Способы повышения жесткости емкостей для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом / С. А. Яковлев, М. М. Замальдинов, Д. Е. Молочников, М. Ю. Дудиков // Достижения техники и технологий в АПК : материалы Международной научно-практической конференции (Ульяновска, 15 ноября 2018 г.). – Ульяновск : Ульяновский ГАУ, 2018. – С. 355–360.

9. Молочников, Д. Е. К вопросу определения ресурса топливных фильтров / Д. Е. Молочников // Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса : материалы III Международной научно-практической конференции, в рамках 3-го Международного Научного форума Донецкой Народной Республики (Донецк, 25–26 мая 2017 г.) / Донецкая академия транспорта ; ГУ «Институт Экономических Исследований». – Донецк : Донецкая академия транспорта, 2017. – С. 48–50.

D.E. Molochnikov, S.A. Yakovlev

Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

EQUIVALENT LOADING MODES OF TANK WALLS

The article considers a mathematical model of deformation of the walls of vertical tanks during draining and filling operations. The issues of the duration and mode of loading and unloading of the tank, as well as the durability of the tank for performing one loading cycle, are considered.

Reservoir, deformation, loading, cycle, resource.