

УДК 621.643.4

РЕСУРС РЕЗЕРВУАРОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

*Д.Е. Молочников, кандидат технических наук, доцент,
8(8422) 55-95-41, denmol@yandex.ru*
*С.А. Яковлев, кандидат технических наук, доцент,
8(8422) 55-95-41, jakseal@mail.ru*
*И.Р. Салахутдинов, кандидат технических наук, доцент,
8(8422) 55-95-41, ilmas.73@mail.ru*
*Н.П. Аюгин, кандидат технических наук, доцент,
8(8422) 55-95-41, nikall85g@yandex.ru*
*Р.Ш. Халимов, кандидат технических наук, доцент,
8(8422) 55-95-41, hrasp29@yandex.ru*
М.Ю. Пальмов, магистрант, mihail_palmov@mail.ru
 ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ключевые слова: ресурс, резервуар, нефтепродукт, циклические нагрузки, сливо-наливочные операции, деформация, коэффициент запаса

В статье рассматривается математическая модель прогнозирования ресурса вертикального резервуаров при циклическом нагружении в процессе сливо-наливочных операций.

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]

$$J(\sigma) = \kappa_n \mu_{\sigma, \varphi} A_2 V_m, \quad (1)$$

где κ_n - коэффициент пропорциональности;

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

A_2 - площадь петли гистерезиса;

V – объем рассматриваемого элемента резервуара.

При совместном действии нескольких режимов нагружения коэффициенты запаса по накопленной энергии и длительности действия представляются в виде:

$$k_j = \frac{1}{\sqrt[m]{\sum \left(\frac{1}{k_i}\right)^m}}, \quad k_t = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k_i}\right)^m}, \quad (2)$$

где k_i – частный запас накопленной энергии при циклическом нагружении на i -м режиме работы резервуара; $k_i = J(N_{\psi})_i^{0*} / J(N_{\psi})_i^{0*}$ – запас накопленной энергии в материале после появления микротрещин, соответствующий длительности нагружения и разгрузки стенки;

m – показатель степени для кривой $J_i = f(N_{\psi})$,
 N_{ψ} – число циклов после появления микротрещин;
 n – число наливов и опорожнений резервуара.

Приведенный к наиболее тяжелому режиму нагружения ресурс резервуара представим в виде [2]

$$R_i = J(N_{\psi})_{\text{пр}} / k_t = J(N_{\psi})_{\text{пр}} / \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{k_i}\right)^m, \quad (3)$$

где $J(N_{\psi})_{\text{пр}}$ – 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 $J(N_{\psi})_0$ можно определить из уравнения кривой изменения накопленной энергии в зависимости от количества циклов (длительности действия) $J(N_{\psi})_0^{*m} t_0 = J(N_{\psi})_i^{0*} t_i$ [3].

Подставив в это уравнение $k_{J_0} J(N_{\psi})_0 = J(N_{\psi})_i^*$ и

$$k_i J(N_{ц})_i = J(N_{ц})_i^0, \text{ получим } t_i^0 = t_0 \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m.$$

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

$$T_{\Sigma} = t_0 + \sum_{i=1}^n t_i^0 = t_0 \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right] \quad (4)$$

Из условия исчерпания ресурса R_i детали следует соотношение

$$T_{\Sigma} = t_0 \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right] = R_i = \frac{J(N_{ц})_{np}}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{k_i} \right)^m} \quad (5)$$

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

$$t_{np} = R_i \left[1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]^{-1} \quad (6)$$

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

$$\sum t = t_n + t_c + t_x + t_{\Sigma m}, \quad (7)$$

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.;

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

Предельное число циклов заполнения и опорожнения за долго-

вечность резервуара $r = T/t_n$.

Продолжительность режимов заправки за время истощения ресурса [4]

$$T = T_{эnp} \cdot \left[1 + \sum_1^n \left(\frac{k_{J_0}}{k_i} \right)^m \right]^{-1}, \quad (8)$$

$$T_{эnp} = J(N_{ч})_{np} / \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m$$

где $J(N_{ч})_{np}$ – приведенное эквивалентное время на режиме заправки;

$J(N_{ч})_{np}$ – экспериментальная величина продолжительности накопления энергии, характеризующая предел разрушения материала;

$k_1 = \Pi_j / J(N_{ч})_{np}$ – запас прочности материала;

Π_j – потенциальная энергия материала;

$J(N_{ч})_{np}$ – энергия, накопленная в материале при i -м числе циклов нагружения, соответствующая режиму.

Принимая во внимание предельное число режимов заполнения и опорожнения резервуара, суммарная наработка за g циклов заправки резервуара топливом [5-7]

$$\sum tr = r(t_n + t_c + t_x + t_{бм}). \quad (9)$$

Разделив обе части равенства (9) на произведение $|t_n r| = T$ и подставив значение T из выражения (8), с учетом высоты налива h получим

$$\sum tr = \frac{T_{эnp}}{1 + \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m} \left[1 + \frac{h}{t_n} \right]. \quad (10)$$

Учитывая, что время хранения топлива в резервуаре зависит от

величины полного объема резервуара V_p и скорости наполнения \dot{v}_n этого объема топливом, то есть $t_x = V_p / \dot{v}_n$, получим выражения для суммарной наработки в зависимости от параметров резервуара и прочностной характеристики материала, названное «оптимальным эксплуатационным ресурсом», в виде

$$\sum tr = \frac{T_{э.р.}}{1 + \sum_1^r \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m} \left[1 + \frac{V_p}{t_n \dot{v}_n} + C \right] \quad (11)$$

Величина снижения ресурса, эквивалентного полному нагружению резервуара можно представить

$$R_{э.р.} = \frac{\sum t_{o.n}}{1 + \frac{V_p}{\dot{v}_n} + C} \left[1 + \sum_1^n \left(\frac{k_1}{k_i} \right)^m \right], \quad (12)$$

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

Если связать сопротивление материала при нагружении с площадью поперечного сечения элемента, а при разгрузении 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 - разгрузения.

Библиографический список:

1. Прогнозирование ресурса вертикальных резервуаров [Текст] / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, С.В. Голубев, Сотников М.В., Козловский Ю.В. // Достижения техники и технологий в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции, 15 ноября 2018. – Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2018. - с. 309-313.
2. Яковлев, С.А. Способы повышения жесткости емкостей для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом [Текст] / С.А. Яковлев, М.М. Замальдинов, Д.Е. Молочников, М.Ю. Дудиков // Достижения техники и технологий в АПК: материалы Международной научно-практической кон-

- ференции, 15 ноября 2018. – Ульяновск: Ульяновский ГАУ, 2018. - с. 355-360.
3. Особенности коррозии вертикальных резервуаров для нефтепродуктов [Текст] / Д.Е. Молочников, Р.Н. Мустякимов, В.А. Голубев, Ю.В. Козловский, М.Ю. Пальмов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: материалы Национальной научно-практической конференции. Том II. Димитровград, ТИ - филиал УлГАУ, 2018. С. 215-220.
 4. Определение динамических характеристик подвижных стыков машин [Текст] / А.Н. Зазуля, Р.Ш. Халимов, Д.Е. Молочников, Н.П. Аюгин, Л.Г. Татаров // Наука в центральной России, № 5 (35), 2018. С. 11-17.
 5. Повышение долговечности емкостей для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом увеличением их жесткости при ремонте [Текст] / С.А. Яковлев, Д.Е. Молочников // Ремонт. Восстановление. Модернизация. №2, 2019. С. 46-48.
 6. Яковлев, С.А. Новый способ упрочнения малоуглеродистых сталей [Текст] // С.А. Яковлев, Д.Е. Молочников // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: материалы Национальной научно-практической конференции. Том II. Димитровград, ТИ - филиал УлГАУ, 2018. С. 296-300.
 7. Сайфуллина, Л.Р. Особенности расчета стенки резервуара на прочность / Л.Р. Сайфуллина, Н.И. Садыков, Д.А. Русских // Вестник современных исследований, № 11 (26), 2018. С. 551-554.

RESERVOIR LIFE UNDER CYCLIC LOADING

Molochnikov D.E., Yakovlev S.A., Salahutdinov I.R., Ayugin N.P., Halimov R.SH., Palmov M.U.

Keywords: *resource, reservoir, oil product, cyclic loading, draining and filling operations, deformation, reserve coefficient.*

The article considers a mathematical model for predicting the resource of vertical tanks under cyclic loading during draining and filling operations.