

In this article the substantiation of a technique of experimental researches of running-in of details at input in oil of additive materials is resulted. The indicators of evaluation of the degree of running-in of samples are proposed. The features and recommendations for the modernization of equipment for research are described.

УДК 621.311.1

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

Молочников Д. Е.,

кандидат технических наук, доцент
тел. 8(8422) 55-95-73, denmol@yandex.ru

Яковлев С. А.,

кандидат технических наук, доцент
тел. 8(8422) 55-95-35, jakseal@mail.ru

Голубев С. В.,

кандидат экономических наук, доцент
тел. 8(8422) 55-95-35, golubevugsha@mail.ru

Сотников М. В.,

кандидат технических наук, доцент
тел. 8(8422) 55-95-73, sotnikovmaksim@mail.ru

Козловский Ю. В.,

магистрант 1-го года обучения

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ключевые слова: надежность, резервуар, остаточный ресурс, оценка, работоспособное состояние, диагностирование, контроль, прогнозирование.

Аннотация. В статье проведено теоретическое обоснование прогнозирования ресурса вертикальных резервуаров для хранения нефтепродуктов. Надежность резервуара представлена в виде элемента, защемленного по контуру как осесимметричная форма равновесия с двумя узловыми диаметрами.

Вертикальные стальные резервуары для хранения нефтепродуктов являются неотъемлемой составляющей технологического оборудования данной отрасли. Они задействованы на всех стадиях производства нефтяного сырья [1]. Для того чтобы предотвратить хрупкое разрушение, необходимо обеспечить надежность, которая является комплексной характеристикой и, в значительной степени, обуславливается на стадии проектирования. Одним из важнейших параметров надежности, задаваемых на стадии проектирования, является срок службы или ресурс, определяющий долговечность резервуара, то есть свойство сохранять работоспособное состояние в течение длительного времени [2].

Для описания надежности резервуара, представим элемент защемленный по контуру как осесимметричная форма равновесия с двумя узловыми диаметрами. Деформация боковых стенок неравномерна и работает на растяжение от внутренних гидравлических сил, верхняя и нижняя кольцевые пластины в стыке сварных соединений работают на изгиб и растяжение. Для описания напряженно-деформированного состояния резервуара рассмотрим днище как круглую пластину, а стенку резервуара как круглое кольцо.

Для круглой пластины (дно резервуара) целесообразно выразить дифференциальным уравнением срединной поверхности в полярной системе координат, отнесенной к центру пластины, рисунок 1, а.

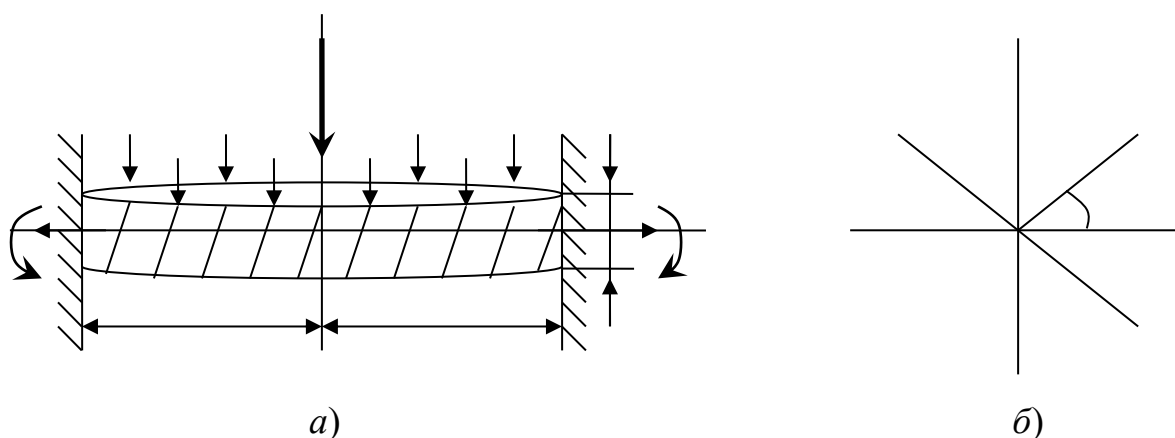


Рисунок 1 – Пластина с защемленным контуром

При некоторой величине этих сил круглая форма пластины перестает быть формой устойчивого равновесия, она искривляется из-за неоднородности и неравномерности толщины пластины. Соответствующее значение интенсивности радиальных растягивающих сил по периметру вызывает критическое $q_{кр}$. Из условия равновесия конечного элемента в прямоугольной системе координат получим дифференциальное уравнение для искривленной пластины с защемленным контуром [3, 4]

$$D_{ж} \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} - 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} - \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2S_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \quad (1)$$

где $D_{ж}$ – жесткость пластины при растяжении; N_x, N_y – интенсивности нормальных сил по осям x и y в гранях конечного элемента; w – прогиб пластины; S_{xy} – интенсивность касательных сил (параллельных плоскости пластины).

Полярные координаты r и φ (рисунок 1, б) связаны с прямоугольными координатами x и y соотношениями

$$r^2 = x^2 + y^2 \quad \text{и} \quad \varphi = \arctg \frac{y}{x}. \quad (2)$$

Представим первые частные производные от уравнения срединной поверхности $w(x, y)$ по координатам x и y в виде

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial r} \cdot \frac{\partial r}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial r} \cdot \frac{\partial r}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial y} \quad (4)$$

и, следовательно,

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial r} \cos \varphi - \frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\sin \varphi}{r}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial w}{\partial y} = \frac{\partial w}{\partial r} \sin \varphi + \frac{\partial w}{\partial \varphi} \cdot \frac{\cos \varphi}{r}. \quad (6)$$

Вторые частные производные имеют вид

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \cos^2 \varphi \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \sin^2 \varphi \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right] + \sin 2\varphi \left[\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial w}{\partial \varphi} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi \partial r} \right];$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \sin^2 \varphi \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \cos^2 \varphi \cdot \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right] - \sin 2\varphi \left[\frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial w}{\partial \varphi} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi \partial r} \right]. \quad (7)$$

или

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = \sin \varphi \cos \varphi \left[\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right] + \cos 2\varphi \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi \partial r} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right]. \quad (8)$$

Используя зависимости (7) и (8), получим следующее выражение

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) = \\ & \frac{\partial^4 w}{\partial r^4} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial r^3} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r^3} \times \\ & \times \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{2}{r^2} \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial r^2 \partial \varphi^2} - \frac{2}{r^3} \cdot \frac{\partial^3 w}{\partial r \partial \varphi^2} + \frac{1}{r^4} \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial \varphi^4} + \frac{4}{r^4} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Круглая сплошная пластина, нагруженная по контуру равномерно распределенными, радиально направленными от центра пластины силами, находятся (до искривления) в однородном поле напряжений растяжений, то есть во всех точках пластины имеют место только одинаковые по величине (для всех площадок, перпендикулярных к плоскости пластины) растягивающие нормальные напряжения. Критическое значение нагрузки соответствует моменту возникновения искривленной формы равновесия пластины.

Библиографический список

1. Левитин, Р.Е. Способ поддержания рабочего объема вертикальных стальных резервуаров / Р.Е. Левитин, В.О. Некрасов, Ю.Д. Земенков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2014. – № 3. – С. 43–46.
2. Белкин, А.П., Прогноз надежности эксплуатации резервуаров для хранения нефтепродуктов/ А.П. Белкин, Б.С. Квашнин, Е.В. Казаков // Материалы VI горногеологического форума «Природные ресурсы стран СНГ». -СПб.: Изд. центр НТП. – 1998, С. 123-127.

3. Розенштейн И. М. Аварии и надежность стальных резервуаров. М.: Недра, 1995, 253 с.

4. Руководство по безопасности вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов. Серия 03. Выпуск 69. -М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. -240 с.

Forecasting resource vertical tanks

Molochnikov D.E., Yakovlev S.A., Golubev S.V., Sotnikov M.V.,
Kozlovskii Yu.V.

Keywords: reliability, reservoir, residual life, assessment, working condition, diagnosis, control, forecasting.

Abstract. The article presents a theoretical basis for forecasting the resource of vertical tanks for storage of petroleum products. The reliability of the tank is presented in the form of an element clamped along the contour as an axisymmetric form of equilibrium with two nodal diameters.

УДК 621.787

СТЕНД ДЛЯ ИЗНОСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДЕТАЛЕЙ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Морозов А. В.,

кандидат технических наук, доцент,
8(8422)5595-97, alvi.mor@mail.ru

Фрилинг В. А.,

кандидат технических наук, старший преподаватель,
8(8422)5595-97, friling.vladimir@mail.ru

Кундротас К. Р.,

ассистент, +79020022413, kundrotas@mail.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ