

МЕТОДИКА УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ СТЕНКИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА

Молочников Д.Е., кандидат технических наук, доцент,

тел. 8(8422) 55-95-41, denmol@yandex.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Карадаг Х, профессор,

Университет Ван Юзунджу Йыла (Турция)

***Ключевые слова:** резервуар, ресурс, проектирование, измерение.*

В работе рассмотрена методика усталостных испытаний стенки вертикальных резервуаров для нефтепродуктов методом перемещения кривизны петли гистерезиса в зависимости от количества циклов нагружения.

Введение. Исследования усталостных испытаний стенки резервуара направлены на получении данных, подтверждающих зависимость между возникновением циклических усталостных напряжений, развитием микро трещин и изменением площади петли гистерезиса [1, 2].

Материалы и методы исследований. При первом подходе кривизну изменения потенциальной энергии стенки резервуара представили в виде балки защемленной с одного конца и нагруженной с другого, рисунке 1.

В заданной точке 0 кривизны восстановим оси координат XOY в плоскости совпадающей с осью кривизны. По оси OX отложено количество циклов, а OY - потенциальная энергия (площадь петли гистерезиса). Перемещение кривизны при заданном числе циклов нагружения AA по направлению, перпендикулярному оси кривизны характеризует развитие микротрещин.

Угол φ , на который повернется кривизна в зависимости от количества циклов нагружения, характеризует снижение внутреннего трения металла междокристаллической решетки [3 - 6].

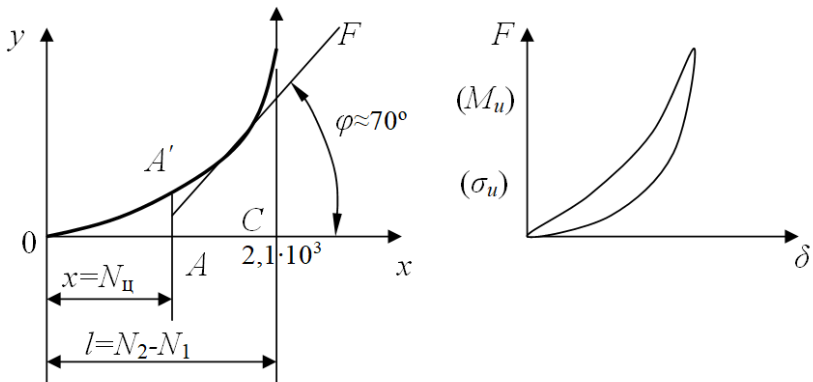


Рис. 1 – Расчетная схема кривизны петли гистерезиса

Измерение направления касательной к кривой выражено уравнением

$$\frac{1}{\rho} = M_z / EJ_z, \quad (1)$$

где ρ – радиус кривизны, м; M_z – момент внутренних сил относительно нейтральной оси; E – модуль упругости металла; J_z – момент инерции элемента поперечно сечения стенки резервуара, связывающий кривизну с изгибающим моментом и жесткостью сечения при изгибе [7, 8].

Поместив в заделке неподвижные оси координат XOY , запишем известную из математики формулу для кривизны линии:

$$\frac{1}{\rho} = \pm \frac{y''}{[1 + (y')^2]^{3/2}}. \quad (2)$$

В большинстве практических задач перемещение точек оси кривизны относительно малы и $\text{tg}\varphi = \varphi'' \ll 1$. В связи с этим принимая $\frac{1}{\rho} \approx \pm y''$, запишем зависимость (1) в форме

$$y'' = \frac{M_z}{EJ_z} \quad (3)$$

Эта зависимость представляет собой приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси кривизны петли гистерезиса.

Выбор знака определяется принятой системой координат. Для системы координат принятой на рисунке 2 знаки для второй производной кривизны и момента одинаковы, и уравнение имеет вид

$$EJ_z y'' = M_z \quad (4)$$

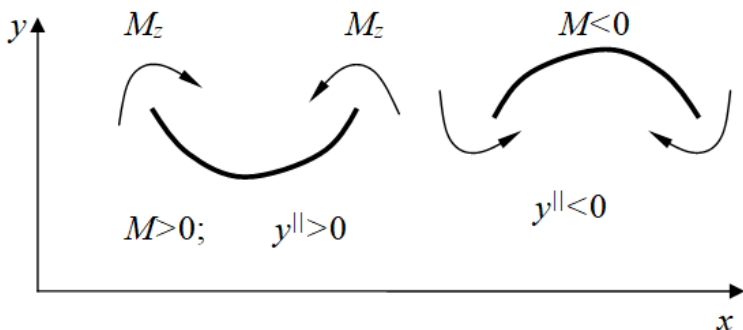


Рис. 2 – Расстановка знаков при нагружении элемента

Если в принятой системе координат знаки y'' и M_z не совпадают, то уравнение (3) имеет вид

$$EJ_z y'' = -M_z \quad (5)$$

Вычисление углов φ поворота значений A_r и прогибов (y) точек кривой производим интегрирования уравнения (3) с учетом условий закрепления [9].

Определим, прогиб и угол поворота кривой, нагруженного силой F . С учетом правила знаков, принятого на рисунке 2, используем уравнение (4) изгибающий момент в сечении (x)

$$M_z(x) = F(1-x). \quad (6)$$

Тогда уравнение (4) примет вид:

$$EJ_z y'' = F(1-x). \quad (7)$$

Принимая, что жесткость сечения постоянна и интегрируя полученное уравнение, выражение будет иметь вид

$$EJ_z y' = Flx - Fx^2/2 + C_1. \quad (8)$$

Повторяя интегрирование, найдем

$$EJ_z y = Fx^2/2 - Fx^3/6 + C_1x + C_2. \quad (9)$$

Произвольные постоянные C_1 и C_2 определим из известных граничных условий. При $x=0$ в (заделке), начале отсчета координат $y^|=0$ и $y=0$ с учетом этих условий $C_1=0$ и $C_2=0$ [10-12].

Таким образом, имеем следующие уравнения для определения угла поворота кривизны и прогибов точек

$$y^|(x) = \frac{Flx}{EJ_z} - \frac{Fx^2}{EJ_z}; \quad y(x) = \frac{Flx^2}{2EJ_z} - \frac{Fx^3}{6EJ_z}. \quad (10)$$

Откуда угол поворота и прогиб на конце кривизны ($x = l$) соответственно равны:

$$\varphi(l) = \frac{Fl^2}{2EJ_z}; \quad y(l) = \frac{Fl^3}{3EJ_z}. \quad (11)$$

Значение l принимаем как разность числа циклов нагружения, в начале отсчета $N_{ц1}$ и конце отсчета $N_{ц2}$, то есть $l = N_{ц2} - N_{ц1}$.

Во втором подходе используем энергетический метод определения кривизны разрушения стенки резервуара. Этот метод более точен, основан на теореме Кастилиано, согласно которой перемещение (в данном случае прогиб кривизны) в точке приложения некоторой силы F_i , равно частной производной от энергозатрат деформации стенки резервуара по этой силе, то есть

$$y_i = \frac{\partial J_p}{\partial F_i}. \quad (12)$$

Не сложно установить, что угол поворота кривой, в котором приложен сосредоточенный изгибающий момент

$$\varphi = \frac{\partial J_n}{\partial M_i}. \quad (13)$$

Дифференцируя по какому – либо силовому фактору (силе, моменту) зависимость для энергозатрат деформации найдем, что прогиб в точке приложения сосредоточенной силы F_i

$$y_i = \frac{\partial J_p}{\partial M_i} = \int_0^l \frac{M_z(x) dx}{EJ_z} \frac{\partial M_z(x)}{\partial M_i}, \quad (13)$$

а угол поворота кривизны в которой действует сосредоточенный изгибающий момент

$$\varphi_i = \frac{\partial J_p}{\partial M_i} = \int_0^l \frac{M_z(x) dx}{EJ_z} \frac{\partial M_z(x)}{\partial M_i}. \quad (14)$$

Определим прогиб консоли, нагруженной на конце силой F . Изгибающий момент на расстоянии x от начала координат $M_z(x)=F(l-x)$, производная от момента по силе

$$\frac{\partial M_z(x)}{\partial F} = l - x. \quad (15)$$

Наклон конца кривизны

$$y = \int_0^l \frac{F(l-x)^2}{EJ_z} dx = \frac{Fl^3}{3EJ_z} \quad (16)$$

Заключение. Описанный способ позволяет определить перемещения лишь в точках приложения сил и только в направлении этих сил. Возможности способа и круг решаемых задач можно расширить, если в рассчитываемой точке кривизны мысленно приложить дополнительную силу F_g в интересующем нас направлении (или дополнительный момент M_g). Затем составить выражение энергозатрат системы с учетом этой силы и применить теорему Кастилиано, взяв частичную производную от энергозатрат по дополнительной силе. Полученное соотношение для определения прогиба (угла поворота кривизны) будет верным при любых числовых значениях циклов нагружения. принимая $F_g=0$ ($M_g=0$), найдем интересующее нас значение прогиба кривой.

Библиографический список:

1. Каневский, И.Н. Неразрушающие методы контроля: учебное пособие/ И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова.– Владивосток: ДВГТУ, 2007. – 243 с.
2. Молочников, Д.Е. Прогнозирование ресурса вертикальных резервуаров для нефтепродуктов при циклическом нагружении / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, Р.Н. Мустякимов, М.Ю. Пальмов, Е.Е. Рузаев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции посвященной 40-летию со дня организации студенческого конструкторского бюро. Рязанский ГАУ, Рязань, 2020. С. 63-67.

3. Яковлев, С.А. Ресурсосберегающая технология повышения долговечности емкостей для перевозки нефтепродуктов / С.А. Яковлев, Д.Е. Молочников, В.В. Хабарова // Аграрная наука - сельскому хозяйству: Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, Алтайский ГАУ, Барнаул, 2020. С. 95-96.

4. Молочников, Д.Е. Ресурс резервуаров при циклическом нагружении / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, И.Р. Салахутдинов, Н.П. Аюгин, Р.Ш. Халимов, М.Ю. Пальмов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы X Международной научно-практической конференции, Ульяновский ГАУ, Ульяновск, 2020. С. 233-238.

5. Яковлев, С. А. Технология ремонта автоцистерн для перевозки нефтепродуктов // С.А. Яковлев, Д. Е. Молочников, В.Н. Игонин // материалы Всероссийской Национальной научно-практической конференции, посвящённая 80-летию со дня рождения профессора А.М. Лопатина, Рязанский ГАУ, Рязань, 2019 г. – С. 244-248.

6. Технологии ремонта емкостей для перевозки нефти и нефтепродуктов /С.А. Яковлев, Д. Е. Молочников, М. В.Сотников // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы: материалы Национальной научно-практической конференции, Ижевская ГСХА, г. Ижевск, 2019. – С. 96-99.

7. Молочников, Д.Е. Методы неразрушающего контроля материалов / Д.Е. Молочников, Р.Ш. Халимов, С.А. Яковлев, Лисин А.В., И.Н. Гаязиев // Теория и практика современной аграрной науки: Сб. III национальной научной конференции с международным участием, Новосибирский государственный аграрный университет. Новосибирск, 2021. С. 521-524.

8. Молочников, Д.Е. Виды и источники потерь нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, Р.Н. Мустьякимов, А.В.Лисин, Хуссейн Карадаг // Теория и практика современной аграрной науки: Сб. III национальной научной конференции с международным участием, Новосибирский государственный аграрный университет. Новосибирск, 2021. С. 360-363.

9. Особенности коррозии вертикальных резервуаров для нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, Р.Н. Мустьякимов, 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 УГАУ, 2018. С. 215-220.

10. Модель коррозионного износа днища резервуара для нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, М.М. Замальдинов, Е.Е. Рузаев, М.Ю. Пальмов // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции в рамках XXII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш».- Ростов-на-Дону, 2019.- С. 376-380.

11. Прогнозирование коррозионного износа вертикальных резервуаров / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, М.М. Замальдинов, Е.Е. Рузаев, М.Ю. Пальмов // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чувашская ГСХА, Чебоксары, 2019. - С. 182-186.

12. Коррозионные повреждения стальных резервуаров для нефтепродуктов / Д.Е. Молочников, С.А. Яковлев, М.М. Замальдинов, М.В. Сотников, Ю.В. Козловский // Инновационная деятельность науки и образования в агропромышленном производстве: материалы Международной научно-практической конференции, Курская ГСХА, г. Курск, 2019. –С. 102-107.

THE METHOD OF FATIGUE TESTING OF THE WALL VERTICAL TANK

Molochnikov D.E., Karadag Kh.

Keywords: *reservoir, resource, design, measurement.*

The paper considers the method of fatigue testing of the walls of vertical tanks for petroleum products by moving the curvature of the hysteresis loop depending on the number of loading cycles.