

УДК 620.194

## **ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ РЕЗЕРВУАРОВ ДЛЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

В.Н Печёрский, О.Л.Олейников  
ЮКГУ им. М.Ауезова, г. Шымкент,  
КазГипроНефтеТранс, г. Алматы

Выбор конструкционных материалов и назначение толщины стенок поясов вертикальных стальных резервуаров (РВС) осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Прогнозирование долговечности стальных конструкций производится на основе оценки предельных состояний конструкции по несущей способности либо по развитию чрезмерно больших деформаций вследствие эксплуатационных нагрузок. При этом должны быть учтены характер эксплуатационных нагрузок, сейсмического воздействия, повреждений малоциклового усталости от сливов-наливов, а также назначена прибавка, учитывающая технологические особенности и коррозионный износ [1-7]. Коррозионное воздействие нефтепродуктов и подтоварных водных растворов считается равномерной коррозией по поверхности. При этом совершенно не учитываются локальные виды коррозионно-механического воздействия, как питтинговая коррозия, биокоррозия, водородное охрупчивание в растворах, не содержащих в явном виде молекулярный водород, а также снижение механических характеристик сталей и сварных соединений вследствие коррозионного растрескивания под напряжением и явлений коррозионно-механической усталости.

В указанном аспекте представляют особый интерес исследования [2], направленные на использование физико-механических уравнений для оценки долговечности элементов конст-

рукций. Например, время до разрушения  $\tau$  в зависимости от уровня действующих напряжений  $\sigma$  и температуры  $T$  предлагается [2] определять по уравнению:

$$\tau = \tau_0 \exp \frac{U_0 - \gamma \sigma}{kT}, \quad (1)$$

где  $U_0$  - энергия активации;

$\gamma$  - эффективный активационный объем;

$\tau_0$  и  $k$  - известные постоянные [2].

Если какие-либо параметры изменяются во времени  $t$ , то применяется принцип линейного суммирования повреждений:

$$\int_0^t \frac{dt}{\tau(t)} = 1. \quad (2)$$

Энергию активации процесса разрушения предложено определять согласно уравнению:

$$U_0 = \gamma \cdot \sigma_p + k \cdot T \cdot \ln \frac{k \cdot T \cdot t_0 \cdot \varphi(\alpha)}{\gamma \cdot \alpha \cdot t_0}. \quad (3)$$

В случае монотонного нагружения с постоянной скоростью роста напряжения энергия активации определяется:

$$U_0 = \gamma \cdot \sigma_p + k \cdot T \cdot \ln \frac{k \cdot T}{\gamma \cdot \dot{\sigma} \cdot \tau_0}. \quad (4)$$

Эффективный активационный объем при этом определим, согласно [2], из уравнения:

$$-\frac{\gamma}{K} \cdot \frac{\partial \sigma_p}{\partial T} = 1 + \ln \frac{KT}{\gamma \tau_0} - \frac{T}{\dot{\sigma}} \cdot \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial T}. \quad (5)$$

Для определения  $U_0$  и  $\gamma$  можно использовать выражение:

$$U_0 = \frac{K}{b} \ln \frac{\tau}{\tau_0}. \quad (6)$$

Если переменным является напряжение  $\sigma = \sigma(t)$ , то в [3] следует представлять с учетом  $\sigma(t)$ . В этом случае  $t_p$  - время до разрушения при заданном режиме нагружения.

При циклическом нагружении напряжение изменяется по закону:

$$\sigma(t) = \frac{\sigma_a(t)}{2} \cdot [1 - A(t) \cdot \cos \omega t], \quad (7)$$

где  $\sigma_a(t)$  и  $A(t)$  - функции времени для усталости с постоянной амплитудой, определяемой по формуле:

$$\sigma(t) = \frac{\sigma_a}{2} (1 - \cos \omega t). \quad (8)$$

В случае одновременного воздействия механических нагрузок и коррозионных сред, когда разрушение практически происходит в упругой области диаграммы деформирования при монотонном нагружении с постоянной скоростью деформации, можно считать, что напряжение прямо пропорционально деформации:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon; \quad (9)$$

а скорость роста напряжений – пропорциональна скорости деформации:

$$\dot{\sigma} = E \cdot \dot{\varepsilon}. \quad (10)$$

Учитывая, что коррозионная трещина возникает при деформациях, можно использовать подход на основе характеристик пластичности разрушения образцов с малыми дефектами, сопоставимыми с величиной структурного зерна. Для определения энергии активации воспользуемся уравнением (1) и получим:

$$U_0 = \gamma E \varepsilon_p + k \cdot T \cdot \ln \frac{k \cdot T}{\gamma \cdot \varepsilon \cdot E \cdot \tau_0}, \quad (11)$$

где  $\varepsilon_p$  - деформация на воздухе в момент разрыва при статических испытаниях.

Для определения  $U_0$  используем (6) и, приняв за критерий разрушения достижение предельной деформации, получим:

$$U_0 = \frac{k}{b} \cdot \ln \frac{\varepsilon_{kp}}{\varepsilon_p}, \quad (12)$$

где  $\varepsilon_{kp}$  - деформация в среде в момент разрыва при монотонном растяжении.

В работе [2] приводятся активационные характеристики, полученные для алюминия и меди, в зависимости от температуры и метода испытаний.

Однако уравнения (3,4,11) не дают возможности непосредственного определения параметров разрушения для произвольного случая нагружения и сочетания материал-агрессивная среда. Для разрешения этой задачи необходимо установить зависимость характеристик пре-

дельного состояния от скорости деформирования  $\dot{\varepsilon}$ . Учитывая, что для систем материал - среда с коротким инкубационным периодом окончательное разрушение происходит при значительных пластических деформациях (материал находится в упругопластическом состоянии), представляется целесообразным использование критериев нелинейной механики разрушения.

В ряде работ показана возможность определения с помощью  $J$ -интеграла скорости деформирования в вершине трещины при испытаниях с постоянной скоростью деформирования и, как более общее решение, оценка соотношения между номинальной скоростью деформирования и скоростью деформации в вершине трещины [5-7].

В момент разрушения  $J$ -интеграл достигает критического значения, определяемого согласно [6] уравнением:

$$J_C = C_0 f(n) \dot{\varepsilon}_p^{n+1} a_p, \quad (13)$$

где  $J_C$  - постоянная для данного материала и геометрии образца и не зависящая от скорости деформирования  $\dot{\varepsilon}$ ;  $C_0$  - нормирующий множитель;  $n$  - степенной показатель, характеризующий упрочнение материала при больших деформациях (вблизи разрушения);  $f(n)$  - функция  $n$ , согласно [5], не зависящая от  $\dot{\varepsilon}$ .

Обозначив  $G_0$  члены уравнения, независимые от  $\dot{\varepsilon}$ , получим:

$$G_0 = \dot{\varepsilon}^{n+1} a_p, \quad (14)$$

где

$$G_0 = \frac{J_C}{C_0 f(n)}. \quad (15)$$

Имея набор данных по  $a_p$  и  $\varepsilon_p$  для разных скоростей деформирования, можно определить показатель  $n$ .

Прологарифмировав (14), получим:

$$\lg a_p = \lg G_0 - (n+1) \lg \varepsilon_p. \quad (16)$$

Как показали результаты обработки имеющихся экспериментальных данных, зависимость  $\lg a_p \sim \lg \varepsilon_p$  хорошо аппроксимируется линейной зависимостью.  $G_0$  и  $n$  могут быть определены из уравнения прямой линии, полученного при такой обработке.

Используя уравнения (14,16), можно получить соотношения между параметрами хрупкого коррозионного разрушения и скоростью деформирования:  $t_p, a_p, \varepsilon_p$ .

*Выводы.* Учитывая скорость деформация при эксплуатационных нагрузках, необходимо определить уровень критической деформации, накопленной с учетом деформации в предшествующие периоды соответствующих циклов нагружения. Энергию активации можно использовать в случае наличия экспериментальных данных о свойствах системы материал-среда. В отсутствии таких данных целесообразно провести ускоренные испытания при постоянной скорости деформации или усталостных испытаний.

#### Литература

- 1 Печерский В.Н., Аринова Д.Б., Сералиев Г.Е., Олейников О.Л. Воздействие вредных примесей в составе нефти на металл трубопроводов и емкостей // Труды международной научно-практической конференции "Наука и образование на современном этапе". В 4-томах. Том 1. – Шымкент: ЮКГИ им. М. Сапарбаева, 2005.- С.127-130.
- 2 Соколов И.Б., Шпейзман В.В. Разрушение меди и алюминия при циклическом нагружении с возрастающей амплитудой // ФММ.- 1989.-Т.67, В.2.- С.373-379.
- 3 Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81) ЦНИИСК им. Кучеренко. - М.: Стройиздат, 1989. - 247 с.
- 4 Айнабеков А.И., Печёрский В.Н., Петрова С.Н. Сопротивление корпусных сталей развитию повреждений малоциклового усталости //Механика и моделирование процессов технологии.- 2002.- № 2. – С.133-137.
- 5 Kawakubo T., Hishida M. Elastic-plastic fracture mechanics analysis on environmentally accelerated cracking of stainless steel in high temperature water // Journ. of Eng. Mat. and Technol.- 1985.- V.107.- № 3.
- 6 Mowbray D.F. Cracks and Fracture. American society for testing and materials. -1976.- P. 33-46.
- 7 Писаренко Г.С., Науменко В.П., Волков Г.С. Определение трещиностойкости материалов на основе энергетического контурного интеграла.- Киев: Наукова Думка, 1978. - 124 с.

#### Қорытынды

Мақалада физикалық теңдеу негізіндегі энергияның бұзылу бағалылығының ұзақ мерзімділігін қарастырған. Деформацияның және қуаттың критериялық мәнінің критериялық бағасы берілген. Деформацияның жылдамдығына байланысты шаршап қираған және статикалық жағдайға шешімі алынған. Статикалық, бір (сыдырлылы) қалыпты және циклді күштерге қорытындыланып алынған теңдеуге арнайы шешімі алынған.

#### Summary

In article are considered questions of the determination to longevity on base of the physical equations of the estimation to energy of the destruction. The offered criteria of the estimation of critical levels of the stress and deformation. Decisions are received for event statically and cyclically of the destruction in dependence from strain and deformation rate. Separate decisions of the designed equations are received for event of the statically, monotonous and cyclically load.