DOI: 10.17117/na.2016.01.01.536

<http://ucom.ru/doc/na.2016.01.01.536.pdf>

Поступила (Received): 10.01.2016

Чепусов А.Ю., Гронин М.А., Старостин И.В. Учет изменения реологических свойств материалов при проведении экспертизы промышленной безопасности

Chepusov A.Yu., Gronin M.A., Starostin I.V.
**Accounting for changes in the rheological properties of materials
during the examination of industrial safety**

*Приведена методика прочностного расчета с
учетом реологических свойств материала*

Ключевые слова: экспертиза, долговечность,
износ, эксплуатация

*The methodology of strength calculation taking into
account the rheological properties of the material*

Key words: expertise, durability, wearout,
maintenance

Чепусов Алексей Юрьевич

Эксперт

Нижне-Волжская экспертная компания по
промышленной безопасности

г. Волгоград, ул. М. Еременко, 108

Chepusov Alexej Yurievich

Expert

Nizhne-Volzhskaya expert company in industrial
safety

Vogograd, M. Eremenko st., 108

Гронин Михаил Александрович

Эксперт

Нижне-Волжская экспертная компания по
промышленной безопасности

г. Волгоград, ул. М. Еременко, 108

Gronin Mihail Alexandrovich

Expert

Nizhne-Volzhskaya expert company in industrial
safety

Vogograd, M. Eremenko st., 108

Старостин Игорь Викторович

Инженер

Нижне-Волжская экспертная компания по
промышленной безопасности

г. Волгоград, ул. М. Еременко, 108

Starostin Igor Victorovich

Engineer

Nizhne-Volzhskaya expert company in industrial
safety

Vogograd, M. Eremenko st., 108

Влияние внешней среды на элементы трубопроводной конструкции проявляется в изменении толщины или размеров сечения элементов, сплошности материала в поверхностных слоях, а также в изменении механических свойств материала. Математическое влияние таких воздействий на конструкцию лучше всего описывать математическими моделями с введением одного или нескольких параметров поврежденности (ω , δ , ...).

Такие модели должны учитывать зависимость физико-механических свойств материала от параметров внешней среды: времени воздействия (t), температуры (T), степени агрессивности среды (C), напряженного состояния (σ), деформированности (ϵ) и многими другими факторами.

Большое количество моделей, учитывающих вышеперечисленные факторы, приведено в работе [3].

Условно все модели описывающие поведение материала конструкции вследствие тех или иных событий можно разделить на четыре больших группы причинно-следственных отношений: одно-однозначные $\omega = f(t)$, много-однозначные ($\omega = f(t), \varepsilon = f(t), \dots$), одно-многозначные $\omega = f(t, T, \dots)$, много-многозначные. Особое значение имеют модели с так называемой обратной связью, в которых параметры «входа» зависят от параметров «выхода», наиболее полно отражающие реально происходящие процессы. Рассмотрим одну из таких моделей.

Уравнение накопления повреждений в общем случае примем в виде [2]

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \Phi(\sigma, \omega, t, T, C).$$

Параметры внешней среды, в свою очередь, также могут являться функциональными зависимостями.

Если необходимо описать предысторию нагружения, то уравнение накопления повреждений примет следующий вид

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \Phi(\sigma, \omega, t, T, C) + \int_0^t F(t - t_i) C(t_i) T(t_i) \dots dt_i.$$

Уравнение деформирования нелинейно-упругого тела имеет вид [1]

$$\sigma = E(\omega)\varepsilon - m(\omega)\varepsilon^2,$$

где модуль упругости E и функция m зависят от параметра поврежденности

$$E(\omega) = E_0(1 - \omega)^\alpha; \quad m(\omega) = m_0(1 - \omega)^\beta.$$

Тогда полный вид уравнения деформирования материала с учетом внешних факторов будет

$$\begin{aligned} \frac{D_\sigma}{2G} &= D_\varepsilon \varphi(\varepsilon_i, \omega) - \int_0^t R(t - t_i) \varphi(\varepsilon_i, \omega) D_\varepsilon(t_i) dt_i, \\ \frac{\sigma}{K} &= E_\varepsilon \tilde{\varphi}(E_\varepsilon, \omega) - \int_0^t V(t - t_i) \tilde{\varphi}(E_\varepsilon, \omega) E_\varepsilon(t_i) dt_i. \end{aligned}$$

В этих выражениях D_σ и D_ε – компоненты девиаторов напряжения и деформаций, $R(t - t_i)$ и $V(t - t_i)$ – функции, характеризующие реологические свойства материала, $\varphi(\varepsilon_i, \omega)$ и $\tilde{\varphi}(E_\varepsilon, \omega)$ – универсальные функции интенсивности деформаций ε_i и объемной деформации E_ε , K и G – модули объемной деформации и модуль упругости второго рода.

Корректировку жесткостных параметров можно выполнять путем численного интегрирования. Если принять, что после деформации сечение принимает произвольную форму, то выражения для приведенных геометрических характеристик будут следующими:

$$\begin{aligned} A_t &= \sum \delta(x, y, t) \cdot \Delta A, \\ I_{xt} &= \sum \delta(x, y, t) \cdot y^2 \cdot \Delta A, \\ I_{yt} &= \sum \delta(x, y, t) \cdot x^2 \cdot \Delta A. \end{aligned}$$

Сопоставляя изменение геометрических характеристик за конкретный промежуток времени, можно спрогнозировать дальнейшее изменение напряженно-деформированного состояния трубопроводной конструкции.

При работе конструкции в агрессивной среде также необходимо учитывать изменение толщины сечения. В простом случае при равномерном уменьшении толщины стенок трубопровода можно использовать следующие зависимости [4]:

$$\begin{aligned} A_{(\delta(t))} &= k\delta_{(t)}^2 - L_0\delta_{(t)} + A_0, \\ J_{(\delta(t))} &= k_1\delta^4 - k_2L_0\delta^3 + k_3A_0\delta^2 - k_4W_0\delta + J_0, \\ W_{(\delta(t))} &= -k_5\delta^3 + k_6L_0\delta^2 - k_7A_0\delta + W_0, \end{aligned}$$

где k_i – коэффициенты, отражающие тип профиля, L_0 – начальный периметр, A_0 – начальная площадь, W_0 – начальный момент сопротивления, J_0 – начальный момент инерции, δ – глубина коррозионного повреждения, принимается по какой-либо модели, описывающей конкретную агрессивную среду.

Нам представляется важным разработка именно такой математической модели для исследования напряженно-деформированного состояния трубопроводных конструкций, которая должна быть доступной для применения в инженерной расчетной практике и ее можно было применять при проведении экспертизы промышленной безопасности

Список используемых источников:

1. Андропова В.А. Анализ напряженно-деформированного состояния регулярных стержневых конструкций, контактирующих с агрессивной средой, с использованием метода дискретных конечных элементов. Диссертация на соиск. степени к.т.н. Череповец, 1998. 225 с.
2. Воронкова Г.В., Рекунов С.С. Получение матрицы откликов для элемента в форме равностороннего треугольника при расчете пластинок по методу конечных элементов в смешанной форме // Ежегодная научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава и студентов ВолгГАСУ. 2008. С. 243-246.
3. Пономарева М.А., Овчинников И.Г. Оценка напряженного состояния магистрального трубопровода при неполной информации о ряде параметров расчетной схем // Научное обозрение. №4(13). 2012.
4. Воронкова Г.В. Развитие и применение методов расчета стержневых конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивной среды. Диссертация на уч.ст.канд.наук. Волгоград, 1999.