ме дифференциальных уравнений с частными производными для расчета давлений и расходов, с условиями сопряжения в виде обыкновенных дифференциальных уравнений, моделирующих работу ССВД.

Показано, что ССВД являются эффективным средством сглаживания волн давления в нефтепроводах, способных регулировать скорость увеличения давления в трубопроводе и тем самым предотвращать аварийные ситуации. Расчеты показали, что при использовании сбросного клапана, имеющего постоянное значение коэффициента расхода, ССВД работает неустойчиво. В клапане возникают осцилляции давления, которые могут привести к разрушению ССВД и присоединенных к нему трубопроводов.

Расчеты работы ССВД с клапаном, коэффициент расхода которого является линейной функцией от перепада давлений между его полостями, показал, что при правильной настройке ССВД работает устойчиво и выполняет назначенные ей функции.

Выявлен диапазон коэффициентов расхода, при которых ССВД обеспечивает скорость увеличения давления в нормативном диапазоне $0{,}01 - 0{,}03\ МПа/с$ скоростей.*

Список литературы

1. Лурье М.В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. - М.: «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2003,- 335 с.

Сведения об авторе

Адоевский А. В., аспирант кафедры «Проектирование и эксплуатация нефтегазопроводов», РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва, тел.: (499)233-95-02), e-mail: adoil@mail.ru

Adoevskiy A. V., postgraduate student of Department «Design and operation of oil and gas pipelines» RSU of Oil and Gas named after I.M. Gubkin, Moscow, Russia, tel. (499) 233-95-02, e-mail: adoil@mail.ru

УДК 624.074

РАСЧЕТ ОБОЛОЧЕЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ВИДЕ РЕЗЕРВУАРОВ С ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНЫМ ДЕФОРМИРОВНИЕМ

С.Н. Пичугин
(ЗАО «БЭСКИТ», г. Санкт-Петербург)

Напряженно-нелинейное состояние, оболочечные конструкции, нелинейное деформирование

Stress-non-linear state, non-linear deformation

Calculation of shell constructions in the form of reservoirs with a physically nonlinear deformation. *Pichugin S.N.*

In this work we elaborated resolving equations describing the modes of deformation of

* Автор благодарит профессора М.В. Лурье за руководство работой.

shell structures that have surface fractures taking into account physically non-linear distortions. We offer the analytical method of their calculation by introducing the generalized functions containing Dirac and Heaviside discontinuous functions concerning the boundary conditions. The obtained solutions can be successfully applied to silo constructions of big height. Ref.3.

Отсутствие современных сооружений для долговременного хранения сырья и продуктов, включая углеводородные, в условиях рыночной экономики ставит задачу возведения сооружений и резервуаров, которая должна объединиться научным подходом с прогрессивными тенденциями и апробированными инженерными решениями, в том числе при строительстве и эксплуатации баз, хранилищ в нефтегазовой области.

Цилиндрические резервуары, отдельно стоящие и в составе корпусов, рассматриваются как тонкостенные конструкции большой высоты по отношению к плану, содержащие конструктивные особенности в виде ребер, отверстий и изломов, в условиях допускаемых больших деформаций, и при динамических нагрузках – пульсация ветра, избыточное давление при процессах загрузки-опорожнения, взрывы при авариях и инцидентах.

Существенным недостатком зданий и сооружений, в том числе, например, типовых силосных корпусов является трудоемкость и дороговизна изготовления, высокая стоимость инженерного обеспечения хранения продуктов. Сложившаяся инфраструктура, технологические особенности, удорожание земельных участков приводят к целесообразности развития ввысь. В данной работе приведены лишь некоторые принципиальные решения, позволяющие снизить вышеперечисленные недостатки.

Современное развитие строительства и эксплуатации баз и хранилищ, технологических установок ставят научную задачу в проектировании конструкций большой, до 100 м, высоты. Как известно, принятая в типовых проектах высота сооружений и рабочих башен ограничена несущей способностью основания. Эта проблема решается современной технологией усиления грунтов, а также конструктивно путем разгружающих конструктивных элементов. Поэтому основной проблемой встает обеспечение взрыво- и пожаробезопасности при эксплуатации подобных объектов. В этом направлении еще предстоит поработать. Предполагается провести исследования по определению избыточного давления при взрыве и распространении волны по длинной цилиндрической оболочке корпуса с различными нерегулярностями в виде гасителей давления.

В ходе проектирования тонкостенных пространственных конструкций неизбежно возникают вопросы об их несущей способности, для ответов на которые требуется определить фактические расчетные напряжения, что возможно лишь с учетом пластичности материалов, их реальных физико-механических свойств. При этом достижение оптимального результата экономии материала при повышенной жесткости сопровождается подкреплением в форме сот [1], а также устройством изломов поверхности, что это вызывает необходимость поиска и разработки эффективных методов расчета предельных состояний конструкций оболочек в стадии нелинейного деформирования.

В данной работе приводится методика расчета оболочек с изломами поверхности при физически нелинейном деформировании в рамках теории малых упругопластических деформаций. Алгоритм расчета, построенный на введении специальных разрывных функций в исходные уравнения и в их решения, позволяет получить решение в виде рядов, обладающих почти одинаковой сходимостью в континуальной части и зонах концентрации.

При рассмотрении уравнений примем за основную координатную поверхность срединную поверхность оболочки двоякой кривизны в общем виде, отнесенную к ортогональной системе координат. На внешнюю поверхность тела оболочки действует нормальная система сил q, начальные напряжения отсутствуют. Оболочка толщиной h имеет равноотстоящие друг от друга изломы поверхности по диагональным линиям. Для данных конструкций кривизны представляются в виде

$$k^*_1 = k_1 \delta_{1i}; \qquad k^*_2 = k_2 \delta_{2j}, \tag{1}$$

где k_1, k_2 - кривизны описанной гладкой оболочки вдоль осей x_1 и x_2 соответственно; $\delta_{1i} = \delta(x_1 - x_{1i})$; $\delta_{2j} = \delta(x_2 - x_{2j})$ - дельта-функция Дирака; x_{1i}, x_{2j} - координаты изломов.

Уравнения совместности деформаций и уравнения равновесия при физическом нелинейном деформировании [2] с учетом (1) представляют систему нелинейных разрешающих уравнений относительно функций нормальных перемещений w и усилий F:

$$\Delta_I^2 w - \Delta_k F = q + \sum_{i=1}^{I} \theta_i \frac{\partial^2 F}{\partial x_2^2} \delta_{1i} + \sum_{j=1}^{J} \theta_j \frac{\partial^2 F}{\partial x_1^2} \delta_{2j}; \tag{2}$$

$$\Delta_{I_1}^2 F + \Delta_k w = -\sum_{i=1}^{I} \theta_i \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} \delta_{1i} - \sum_{j=1}^{J} \theta_j \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} \delta_{2j},$$

где

$$\Delta_I^2(...) = \frac{1}{1-\mu^2}\Bigg[\left(I_3 - \frac{I_2^2}{I_1}\right)\Delta^2(...) + 2\left(\frac{\partial^3}{\partial x_1^3} + \frac{\partial^3}{\partial x_1 \partial x_2^2}\right)(...)\frac{\partial}{\partial x_1}\left(I_3 - \frac{I_2^2}{I_1}\right) +$$
$$+ 2\left(\frac{\partial^3}{\partial x_2^3} + \frac{\partial^3}{\partial x_1^2 \partial x_2}\right)(...)\frac{\partial}{\partial x_2}\left(I_3 - \frac{I_2^2}{I_1}\right) + \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \mu\frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\right)(...)\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\left(I_3 - \frac{I_2^2}{I_1}\right) +$$
$$+ 2(1-\mu)\frac{\partial^2(...)}{\partial x_1 \partial x_2}\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2}\left(I_3 - \frac{I_2^2}{I_1}\right) + \left(\frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + \mu\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\right)(...)\frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\left(I_3 - \frac{I_2^2}{I_1}\right)\Bigg];$$

$$\Delta_{I_1}^2(...) = \frac{1}{I_1}\Delta^2(...) + \frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\left(\frac{1}{I_1}\right)\left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} - \mu\frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\right)(...) +$$
$$+ 2(1+\mu)\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2}\left(\frac{1}{I_1}\right)\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2}(...) + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\left(\frac{1}{I_1}\right)\left(\frac{\partial^2}{\partial x_2^2} - \mu\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\right)(...) +$$
$$+ 2\frac{\partial}{\partial x_1}\left(\frac{1}{I_1}\right)\left(\frac{\partial^3}{\partial x_1^3} + \frac{\partial^3}{\partial x_1 \partial x_2^2}\right)(...) + 2\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\frac{1}{I_1}\right)\left(\frac{\partial^3}{\partial x_2^3} + \frac{\partial^3}{\partial x_1^2 \partial x_2}\right)(...);$$

$$\Delta_k(...) = \left(k_1 \delta_{1i}\frac{\partial^2}{\partial x_2^2} + k_2 \delta_{2j}\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\right)(...); \quad \Delta(...) = \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\right)(...);$$

θ_i и θ_j – изломы поверхности (учитываются для складчатых и многоволновых оболочек); I_1, I_2, I_3 – жесткости оболочки, которые являются функциями координат.

Для решения (2) необходимо установить соотношения между деформациями и напряжениями и получить выражения для жесткостных характеристик. Использование известных аппроксимирующих законов деформирования [2] вносит погрешности, полученные при обработке экспериментальных данных. Для исключения подобных погрешностей предлагается использовать зависимость кривой «напряжение-деформации» в виде

$$\sigma_i = E[\varepsilon_i - \sum_j \Delta\varepsilon_{ij} H(\varepsilon - \varepsilon_j)], \qquad (3)$$

где E – начальный модуль упругости материала оболочки, $\Delta\varepsilon_{ij}$ – изменение наклона зависимости $\sigma_i - \varepsilon_i$ между точками со значением ε_j и ε_{j+1}, которые определяются по экспериментальным кривым; $H(\varepsilon - \varepsilon_j)$ – функция Хевисайда. При этом жесткости оболочки (2) примут вид

$$I_1 = Eh - \frac{\sqrt{3}}{2} E \sum_j \Delta\varepsilon_{ij} \frac{1}{\sqrt{b_3}} \ln\left(2\sqrt{b_3(b_1+b_2h)} + 2b_3h + b_2\right) H(\varepsilon - \varepsilon_j);$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{3}E}{2b_3} \sum_j \Delta\varepsilon_{ij} \left(2\sqrt{b_1+b_2h} - \frac{b_2}{\sqrt{b_3}} Arsh\frac{2b_3h + b_1}{4b_3b_1 - b_2}\right) H(\varepsilon - \varepsilon_j);$$

$$I_3 = \frac{Eh^3}{12} - \frac{\sqrt{3}}{2} E \sum_j \Delta\varepsilon_{ij} \left[\left(\frac{h}{2b_3} - \frac{3}{4}\frac{b_2}{b_3^2}\right)\sqrt{b_1+b_2h} + \right.$$

$$\left. + \frac{3b_2^2 - 4b_3b_1}{8b_3^2} \frac{1}{\sqrt{b_3}} \ln\left(2\sqrt{b_3(b_1+b_2h)} + 2b_3h + b_2\right)\right] H(\varepsilon - \varepsilon_j);$$

$$b_1 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_1\varepsilon_2 + \frac{1}{4}\omega^2;\; b_2 = 2\varepsilon_1\chi_1 + 2\varepsilon_1\chi_2 + \varepsilon_1\chi_2 + \varepsilon_2\chi_1 + \omega\chi;$$

$$b_3 = \chi_1^2 + \chi_2^2 + \chi_1\chi_2 + \chi^2,$$

где $\varepsilon_1, \chi_1, \omega, \chi\ (1 \leftrightarrow 2)$ – компоненты вектора деформаций.

Так как в деформационной теории пластичности производные от жесткостей изменяются незначительно по сравнению с самими жесткостями, то в рассматриваемых уравнениях можно пренебречь производными по жесткостям. Поскольку на каждом участке кривая деформирования заменяется прямой, зависимость (3) совместно с поэтапным нагружением, что отражает схему загрузки силосных корпусов, приводит к линеаризации системы (2):

$$D\Delta^2 w_m - \Delta_k F_m = q_m + \alpha^{m-1}\Delta^2 w_m + \frac{\partial^2 F_m}{\partial x_2^2}\sum_{i=1}^{I}\theta_i\delta_{1i} + \frac{\partial^2 F_m}{\partial x_1^2}\sum_{j=1}^{J}\theta_j\delta_{2j}; \qquad (4)$$

$$\frac{1}{Eh}\Delta^2 F_m + \Delta_k w_m = \gamma^{m-1}\Delta^2 F_m + \frac{\partial^2 w_m}{\partial x_2^2}\sum_{i=1}^{I}\theta_i\delta_{1i} + \frac{\partial^2 w_m}{\partial x_1^2}\sum_{j=1}^{J}\theta_j\delta_{2j},$$

где

$$\frac{1}{1-\mu^2}\left(I_3^{m-1} - \frac{I_2^{2\,m-1}}{I_1^{m-1}}\right) = D - \alpha^{m-1}(x_1, x_2); \quad \frac{1}{I_1^{m-1}} = \frac{1}{Eh} - \gamma^{m-1}(x_1, x_2),$$

$D = Eh^3/\left(12(1-\mu^2)\right)$ – цилиндрическая жесткость при произвольном коэффициенте Пуассона μ; $\alpha(x_1, x_2)$ и $\gamma(x_1, x_2)$ – нелинейные функции, зависящие от отношения интенсивностей напряжений и деформаций $\psi = \sigma_i/\varepsilon_i$. Символом m внизу обозначены изменения искомых состояний на m – том этапе, а вверху – накопленные величины за число нагружений. Значение $m = 1$ соответствует линейному состоянию.

Снизим порядок разрешающих уравнений, производя комплексное преобразование относительно функции $\varphi_m = w_m + i\, n / E h \cdot F_m$:

$$L \varphi_m = \frac{q_m}{D} + l^{m-1} \varphi_m - i\, n \left(L_{k1} + L_{k2} \right) \varphi_m, \qquad (5)$$

где $L(...) = (\Delta^2 + i\, n\, \Delta_k)(...)$; $l^{m-1}(\ldots) = \frac{1}{D}\, \alpha^{m-1} \Delta^2\, \mathrm{Re}(\ldots) +$

$+\, i\, E\, h \gamma^{m-1} \Delta^2 \mathrm{Im}(\ldots)$;

$$L_{k1}(...) = \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}\left(\mathrm{Re}(...) + i\,\mathrm{Im}(...)\right) \sum_{i=1}^{I} \theta_i \delta_{1i}; \quad L_{k2}(...) = \frac{\partial^2}{\partial x_1^2}\left(\mathrm{Re}(...) + i\,\mathrm{Im}(...)\right) \sum_{j=1}^{J} \theta_j \delta_{2j};$$

$$i = \sqrt{-1}; \quad n = \sqrt{12(1-\mu^2)} \Big/ h.$$

Для построения решения (2) определим напряженно-деформированное состояние в упругой стадии по (4) и произведем дискретизацию, разбивая оболочку в направлении оси x_1 на k частей, а в направлении x_2 – на l частей. Считая деформации в пределах каждой части постоянными, равными в средних точках, представим поле деформации оболочки в каждой локальной области как

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{ikl} H(k, l), \qquad (6)$$

где $H(k, l) = [H(x_1 - x_{1k}) - H(x_1 - x_{1\,k-1})][H(x_2 - x_{2l}) - H(x_2 - x_{2\,l-1})]$ - ступенчатая функции двух координат.

Прикладывая поэтапно нагрузку, на каждом шаге нагружения проводится сравнение интенсивности деформации ε_{ikl} с ε_j, где $j = 1$. Если $\varepsilon_{ikl} < \varepsilon_j$ в области наблюдается линейное напряженно-деформированное состояние, жесткости оболочки при этом $I_1 = Eh$, $I_3 = D$ соответствуют закону Гука. Если же $\varepsilon_{ikl} > \varepsilon_j$, в области появляется нелинейное деформирование. Напряжение в данной области определится по формуле (3) и произойдет перераспределение жесткостных параметров и деформаций по всем локальным областям оболочки, представленное в виде выражения

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{i0} + \Delta \varepsilon_{ikl} H(k, l), \qquad (7)$$

где ε_{i0} – интенсивность деформаций, соответствующая начальному состоянию; $\Delta \varepsilon_{ikl}$ – приращение поля деформаций в локальной области. В пределе при малости локальных областей суммирование приводит к непрерывному распределению напряжений и деформации по сечениям оболочки. При небольшой дискретизации погрешность разрывного профиля напряженно-деформированного состояния исследована в [2]. Поскольку при переходе из одного состояния в другое происходят изменения жесткостей дискретно в локальных областях оболочки, данный метод учета физически нелинейного деформирования предложено называть метод дискретных жесткостей.

Если происходит серия изменений жесткостей в конкретной области оболочки, то очевидно будет действовать принцип суперпозиции внутри этапа нагружения, так как характеристики элементарных полей линейно зависят от соответствующих краевых условий. Поэтому появляется возможность построения неоднородных полей пластической деформации путем суперпозиции определенного распределения локальных областей, для которых программируется последовательность изменения формы, размера и расположение относительно системы координат.

В результате преобразований (6), искомая функция при операторе в правой части зафиксируется по точкам в виде

$$L\varphi_m(x_{1k},x_{2l})=\frac{q_m}{D}+\left[\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}l^{m-1}\varphi_m(x_{1k},x_{2l})-\right.$$
$$-in\sum_{i=1}^{I}\sum_{l=1}^{L}L_{k1}\varphi_m(x_{1i},x_{2l})-$$
$$\left.-in\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}L_{k2}\varphi_m(x_{1k},x_{2j})\right]H(k,l). \qquad (8)$$

Решение уравнения (8) строится согласно [3] с помощью базисной системы функций U, которые являются решением следующих уравнений:

$$LU_1=\frac{q_m}{D}$$

в виде
$$U_1=\sum_{\eta}Q_\eta(x_1)Y_\eta(x_2);$$
$$LU_2=H(k,l)$$

в виде
$$U_2=\sum_{\eta}b_\eta\Phi_{\eta k}(x_1)Y_\eta(x_2);$$

(9)

$$LU_3=H(k,l)\delta_{1i}$$

в виде
$$U_3=\sum_{\eta}b_\eta\Psi_{\eta ik}(x_1)Y_\eta(x_2);$$
$$LU_4=H(k,l)\delta_{2j}$$

в виде
$$U_4=\sum_{\eta}a_\eta X_\eta(x_1)\Psi_{\eta jl}(x_2).$$

Функции Q_η, $\Phi_{\eta k}$, $\Psi_{\eta ik}$, $\Psi_{\eta jl}$ определяются решениями соответствующих дифференциальных уравнений $L_\eta Q_\eta=q_\eta(x_1)$; $L_\eta\Phi_{\eta k}=H(x_1)$; $L_\eta\Psi_{\eta ik}=\delta_{1i\eta}$; $L_\eta\Psi_{\eta jl}=\delta_{2j\eta}$ и достаточно подробно отражены в работах [3]. Функции X_η и Y_η принимаются в зависимости от граничных условий, то есть являются координатными, а a_η и b_η – коэффициенты типа интегралов Фурье.

Поскольку на каждом этапе рассматриваются квазилинейные дифференциальные уравнения, то, используя принцип суперпозиции и фильтрующее свойство дельта-функции, решение уравнения (8) с помощью выражений (9) предстанет в виде

$$\varphi_m(x_1,x_2)=U_{1m}+\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}l^{m-1}\varphi_m(x_{1k},x_{2l})U_2-$$
$$-in\sum_{i=1}^{I}\sum_{l=1}^{L}L_{k1}\varphi_m(x_{1i},x_{2l})U_3-in\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{J}L_{k2}\varphi_m(x_{1k},x_{2j})U_4.$$

(10)

В этом случае для определения неизвестных коэффициентов в воздействуем операторами L_k и l^{m-1} на левую и правую части (10). Последовательно полагая $x_1 = x_{1k}$, а $x_2 = x_{2l}$, приходим к системе $K{\cdot}L$ алгебраических уравнений. При формировании матрицы этой системы координаты точек нерегулярности должны совпадать с координатами дискретизации, что снижает порядок системы и повышает точность ее решения.

Функции перемещений, усилий и моментов строятся после разделения действительной и мнимой частей φ_m с использованием известных формул теории оболочек и дискретных жесткостей в виде разницы между текущими и накопленными значениями. Исходная функция для полного нагружения находится суммированием результатов по каждому шагу изменения нагрузки:

$$\varphi = \sum_{m=1}^{M} \varphi_m = \sum_{m=1}^{M} U_{1m} + \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L} U_2 \sum_{m=1}^{M} l^{m-1} \varphi_m(x_{1k}, x_{2l}) -$$
$$- in \sum_{i=1}^{I} \sum_{l=1}^{L} U_3 \sum_{m=1}^{M} L_{k1} \varphi_m(x_{1i}, x_{2l}) - \qquad (11)$$
$$- in \sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{J} U_4 \sum_{m=1}^{M} L_{k2} \varphi_m(x_{1k}, x_{2j}).$$

Интересное решение получается для складчатых оболочек из плоских элементов. В этом случае из уравнений (8)-(11) исключаются два последних члена, в результате получается уравнение произвольно ориентированных пластин, правая часть которого содержит коэффициенты типа Δ_k по физическому смыслу идентичных дополнительным нагрузкам, приложенным в сингулярных точках изломов. При этом различие в их решении состоит в левой части, то есть в решении однородного дифференциального уравнения.

Поскольку полученные формулы не содержат погрешности, присущие аппроксимирующим кривым, полученные расхождения можно считать удовлетворительными. Таким образом, выполненные исследования позволяют применять разработанную точную (с практической точки зрения) методику к расчету физически нелинейных оболочек с различными видами нерегулярности, что может служить основой для рационального проектирования данных конструкций.

Анализируя полученные решения в виде (11) видим, что два последних члена уменьшают итоговую функцию, и приводят к упрочнению оболочки. На практике сечение типовых силосных корпусов в плане напоминает ячеистую (в лучших инженерных решениях и сотовую) структуру. При конструировании оболочек вдоль образующей получаются изломы по линии контакта, следовательно, при большой высоте силосов изломы будут желательными и существенно снизят возникающие кольцевые напряжения.

Вывод

Найден способ учета физически нелинейных деформаций при линеаризации исходных систем разрешающих уравнений в виде предельного сечения конструкций. Практическая значимость работы состоит в достоверной и точной информации о напряженно-деформированном состоянии силосных конструкций как оболочек с конструктивной нерегулярностью.

Список литературы

1. *Расчет и проектирование композиционных материалов и элементов конструкций / Аннин Б.Д., Каламкаров А.Л., Колпаков А.Г., Партон В.З. - Новосибирск: Наука, 1993. – 236 с.*
2. *Петров В.В., Овчинников И.Г., Ярославский В.И. Расчет пластинок и оболочек из нелинейно-упругого материала.- Саратов: Изд-во СГУ, 1976.- 133с.*
3. *Михайлов Б.К. Пластины и оболочки с разрывными параметрами.- Л.: Изд-во ЛГУ, 1980.- 196 с.*

Сведения об авторе

Пичугин С.Н., к.т.н., директор ЗАО «БЭСКИТ», г. Санкт-Петербург, тел.:(812)2724415, e-mail: beskit@mail.ru
Pichugin S.N., Director of CJSC «BESKIT», phone: (812)2724415, e-mail: beskit@mail.ru

УДК 621.648

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛА ТРУБОПРОВОДА

В.Ф. Новиков, С.М. Кулак, К.Р. Муратов, О.К. Мацура
(Тюменский государственный нефтегазовый университет)

Эксплуатация трубопровода, напряжения, магнитные методы диагностики деформаций

Pipeline operation, stress, magnetic methods of deformation diagnostics

Prediction of pipeline metal fatigue failure. Novikov V.F., Kulak S.M., Muratov K.R., Matsura O.K.
In this paper we propose a magnetic method to determine a location of large seasonal changes in stress to assess the deformation amplitude which will help to make adjustments in calculations of the pipeline resource life. Tables 2, ref. 8.

Поскольку трубопровод не относится к динамически работающим устройствам, до недавнего времени мало внимания уделялась влиянию долговременным изменяющимся нагрузкам на его ресурс. В определённой мере это обусловлено и отсутствием оперативных методов диагностики мест, где реализуются напряжения, обеспечивающие малоцикловую усталость. В последнее время эти вопросы поднимаются всё чаще [1].

В процессе эксплуатации подземный магистральный трубопровод испытывает циклическое нагружение вследствие: 1) колебаний давления P газа; 2) колебаний температуры газа и сезонных изменений температуры окружающей среды (грунта); 3) движения блоков земной коры в геодинамических зонах; 5) вибраций, создаваемых работающим компрессором на компрессорной станции [1-3].

В работе [1] приведены результаты измерения давления газа на одном из замерных участков северного газопровода диаметром 1220 мм (в 2 км от компрессорной станции). Оказалось, что давление в процессе эксплуатации изменяется случайным образом, и имеются одиночные всплески давления с размахом 0,6ч10 МПа. Также выявлены высокочастотные пульсации давления с амплитудой 0,1 МПа (проектное давление 5,4 МПа).

Изменение давления газа приводит к колебаниям напряжений около 5ч10 % предела текучести металла труб. Число циклов этих изменений достигает