

Summary

The accident situations with oil and oil-products loss are possible during pipeline exploitation. At present underwater pipeline construction is made on she me «annular pipe». when work pipeline is placed in more diameter pipeline on different type support.

Каспийский Государственный Университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова

Поступила 03.11.2009 г.

Г.А. Байзакова

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТАМИ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОМОЩИ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

В работах [1-3] рассматриваются задачи о колебаниях упругих элементов в магнитном поле при наличии во внешней замыкающей цепи реактивных электрических параметров (конденсатор, катушка индуктивности). Показано, что наличие емкости приводит к увеличению инерционных свойств, а наличие индуктивности изменяет упругие свойства систем. Таким образом, имеется возможность при помощи реактивных электрических параметров влиять на значения собственных частот колебаний системы. Очевидно этот эффект проявляется и в более сложных электромеханических системах.

Рассмотрим две задачи, объектами исследования в которых являются струна и цилиндрическая пружина.

Струна длиной l , изготовленная из немагнитного электропроводного материала помещена во внешнее стационарное магнитное поле. Закрепленные концы струны замкнуты идеальной электрической цепью, содержащей одновременно конденсатор емкостью C и катушку индуктивности L . Магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости колебаний струны действует на участке длиной $\Delta z = z_2 - z_1$ (рис.1).

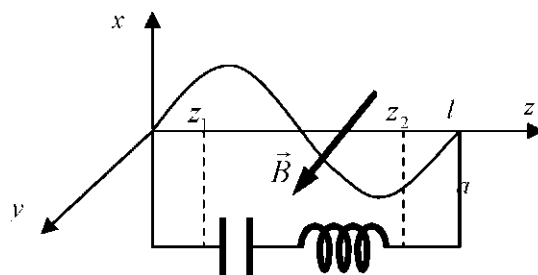


Рис. 1

Интегро-дифференциальное уравнение собственных колебаний струны с учетом электромагнитных сил запишется в виде:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{T_0}{m_0} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \beta \frac{\partial u}{\partial t} = -CB^2 \int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dz - \frac{B^2}{L} \int_{z_1}^{z_2} u dz, \quad (1)$$

где T_0 - натяжение струны, которое предполагается одинаковым по всей ее длине; m_0 - погонная масса струны;

β - коэффициент внешнего демпфирования, зависящий от свойств окружающей среды;

$u(z, t)$ - динамическая функция смещения, зависящая от продольной координаты и времени.

Электромагнитное воздействие на струну определяется членами в правой части уравнения (1).

Применяя процедуру Фурье

$$\ddot{q}_r + \beta \dot{q}_r + p_r^2 q_r = -\frac{8lCB^2}{r\pi^2 m_0} \gamma_r \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\gamma_n}{n} \ddot{q}_n \right) - \frac{8B^2 l \gamma_r}{r\pi^2 m_0 l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\gamma_n}{n} q_n \quad (2)$$

$$\{r = 1, 2, \dots\}$$

где $\gamma_n = \int_{z_1}^{z_2} X_n dz$; $\gamma_r = \int_{z_1}^{z_2} X_r dz$ - введенные обозначения;

X_n, X_r - собственные амплитудные функции.

Обезразмерим уравнение (2), приняв в качестве характерных масштабов: l – расстояние между закрепленными концами стержня, C – емкость конденсатора, B - магнитную индукцию, L индуктивность, $t = \frac{1}{p_1}$ - время. Получим систему взаимосвязанных дифференциальных уравнений

$$\ddot{q}_r + \beta \dot{q}_r + p_r^2 q_r = -\mathbf{St}_c \frac{8}{r\pi^2} \gamma_r \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\gamma_n}{n} \ddot{q}_n \right) - \mathbf{St}_L \frac{8}{r\pi^2} \gamma_r \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\gamma_n}{n} q_n \right), \quad (3)$$

где $\mathbf{St}_c = \frac{lCB_0^2}{m_0}$, $\mathbf{St}_L = \frac{B_0^2 l}{m_0 l p_1^2}$ -соответственно емкостное и индуктивное числа Стюарта.

Правая часть системы уравнений (3) представляет собой электромагнитную силу, действующую на элементарный участок струны, с учетом двух реактивных электрических параметров.

Проведем расщепление системы уравнений таким образом, что первое уравнение будет содержать только первый член суммы, стоящей в правой части системы, второе – первый и второй и так далее. В результате получим следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(1 + \mathbf{St}_c \frac{8\gamma_1^2}{l^2 \pi^2} \right) \ddot{q}_1 + \beta \dot{q}_1 + \left(1^2 + \mathbf{St}_L \frac{8\gamma_1^2}{l^2 \pi^2} \right) q_1 = 0; \\ \left(1 + \mathbf{St}_c \frac{8\gamma_2^2}{2^2 \pi^2} \right) \ddot{q}_2 + \beta \dot{q}_2 + \left(2^2 + \mathbf{St}_L \frac{8\gamma_2^2}{2^2 \pi^2} \right) q_2 = -\mathbf{St}_c \frac{8\gamma_1 \gamma_2}{1 \cdot 2 \pi^2} \ddot{q}_1 - \mathbf{St}_L \frac{8\gamma_1 \gamma_2}{1 \cdot 2 \pi^2} q_1; \\ \left(1 + \mathbf{St}_c \frac{8\gamma_3^2}{3^2 \pi^2} \right) \ddot{q}_3 + \beta \dot{q}_3 + \left(3^2 + \mathbf{St}_L \frac{8\gamma_3^2}{3^2 \pi^2} \right) q_3 = -\mathbf{St}_c \frac{8\gamma_1 \gamma_3}{1 \cdot 3 \pi^2} \ddot{q}_1 - \\ - \mathbf{St}_c \frac{8\gamma_2 \gamma_3}{2 \cdot 3 \pi^2} \ddot{q}_2 - \mathbf{St}_L \frac{8\gamma_1 \gamma_3}{1 \cdot 3 \pi^2} q_1 - \mathbf{St}_L \frac{8\gamma_2 \gamma_3}{2 \cdot 3 \pi^2} q_2; \\ \dots; \\ \left(1 + \mathbf{St}_c \frac{8\gamma_r^2}{r^2 \pi^2} \right) \ddot{q}_r + \beta \dot{q}_r + \left(r^2 + \mathbf{St}_L \frac{8\gamma_r^2}{r^2 \pi^2} \right) q_r = -\frac{8\gamma_r}{r\pi^2} \left(\frac{\gamma_1}{1} (\mathbf{St}_c \ddot{q}_1 + \mathbf{St}_L q_1) + \right. \\ \left. + \frac{\gamma_2}{2} (\mathbf{St}_c \ddot{q}_2 + \mathbf{St}_L q_2) + \dots + \frac{\gamma_{r-1}}{r-1} (\mathbf{St}_c \ddot{q}_{r-1} + \mathbf{St}_L q_{r-1}) \right). \end{array} \right. \quad (4)$$

Проинтегрировав (4) последовательно, получим рекуррентные формулы. Для первого парциального колебания

$$q_1 = q_{01} \exp(-\tilde{h}_1 t) \cos(\omega_1 t + \varepsilon_1),$$

где

$$\omega_1 = \frac{1}{\left(1 + \mathbf{St}_c \frac{8\gamma_1^2}{l^2 \pi^2} \right)^2} \sqrt{\left(1^2 + \mathbf{St}_L \frac{8\gamma_1^2}{l^2 \pi^2} \right)^2 - \beta^2}. \quad (5)$$

$$\tilde{h}_1 = \frac{\beta}{2 \left(1 + \text{St}_c \frac{8\gamma_1^2}{1^2 \pi^2} \right)}$$

Для r -ого парциального колебания:

$$q_r = q_{0r} \exp(-\tilde{h}_r t) \cos(\omega_r t + \varepsilon_r) +$$

$$+ \text{St}_L \frac{8\gamma_1 \gamma_r q_{01} p_1^2 \exp(-\tilde{h}_1 t) [\cos(\omega_1 t + \varepsilon_1 - \theta_1) + \cos(\omega_1 t + \varepsilon_1)]}{1 \cdot r \pi^2 \left(1 + \text{St}_c \frac{8\gamma_r^2}{r^2 \pi^2} \right) \sqrt{(r^2 - 1^2)^2 + 4\tilde{h}_1 (\tilde{h}_1 - \tilde{h}_r) (r^2 - 1^2) + 4 \cdot 1^2 (\tilde{h}_1 - \tilde{h}_r)^2}} +$$

$$+ \text{St}_L \frac{8\gamma_2 \gamma_r q_{02} p_2^2 \exp(-\tilde{h}_2 t) [\cos(\omega_2 t + \varepsilon_2 - \theta_2) + \cos(\omega_2 t + \varepsilon_2)]}{2 \cdot r \pi^2 \left(1 + \text{St}_c \frac{8\gamma_r^2}{r^2 \pi^2} \right) \sqrt{(r^2 - 2^2)^2 + 4\tilde{h}_2 (\tilde{h}_2 - \tilde{h}_r) (r^2 - 2^2) + 4 \cdot 2^2 (\tilde{h}_2 - \tilde{h}_r)^2}} +$$

$$+ \dots +$$

$$+ \text{St}_L \frac{8\gamma_{r-1} \gamma_r q_{0r-1} p_{r-1}^2 \exp(-\tilde{h}_{r-1} t) [\cos(\omega_{r-1} t + \varepsilon_{r-1} - \theta_{r-1}) + \cos(\omega_{r-1} t + \varepsilon_{r-1})]}{(r-1) \cdot r \pi^2 \left(1 + \text{St}_c \frac{8\gamma_r^2}{r^2 \pi^2} \right)} \times$$

$$\times \frac{1}{\sqrt{[(r^2 - (r-1)^2)]^2 + 4\tilde{h}_{r-1} (\tilde{h}_{r-1} - \tilde{h}_r) [(r^2 - (r-1)^2)] + 4(r-1)^2 (\tilde{h}_2 - \tilde{h}_{r-1})^2}},$$

где

$$p_{r-1}^2 = \frac{(r-1)^2 + \text{St}_L \frac{8\gamma_{r-1}^2}{(r-1)^2 \pi^2}}{1 + \text{St}_c \frac{8\gamma_{r-1}^2}{(r-1)^2 \pi^2}},$$

$$\omega_r = \frac{1}{1 + \text{St}_c \frac{8\gamma_r^2}{r^2 \pi^2}} \sqrt{\left(r^2 + \text{St}_L \frac{8\gamma_r^2}{r^2 \pi^2} \right) - \frac{\beta^2}{4}}, \quad (6)$$

$$\tilde{h}_r = \frac{\beta}{2 \left(1 + \text{St}_c \frac{8\gamma_r^2}{r^2 \pi^2} \right)}.$$

Из полученных выражений (6) и (5) видно влияние реактивных параметров на демпфированные частоты колебаний струны.

Далее исследуем колебания цилиндрической пружины с учетом воздействия реактивных параметров. Рассмотрим собственные колебания проводящей пружины, изготовленной из немагнитного электропроводного материала, во внешнем стационарном радиальном магнитном поле индукции $\vec{B} = B(a)\vec{r}^0$, причем $a > r_0$, где r_0 - радиус малой центральной зоны [3] (рис. 2).

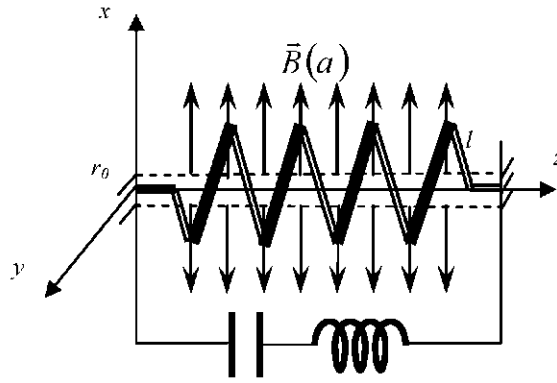


Рис. 2.

Магнитное поле считается однородным вдоль оси z и действующим по всей длине пружины. Концы пружины закреплены и соединены идеальной электрической цепью. Внешняя цепь содержит одновременно конденсатор емкостью C и катушку индуктивности L . Такая постановка задачи имеет смысл при близких значениях St_c и St_L .

С учетом электромагнитных сил интегро-дифференциальное уравнение собственных колебаний пружины запишется в виде:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{k}{m_0} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = -\frac{B^2 C \pi D i_0}{m_0} \int_0^l \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} dz - \frac{B^2 \pi D i_0}{l m_0} \int_0^l u dz, \quad (7)$$

где k – продольная жесткость пружины;

D – средний диаметр витка пружины;

i – число витков пружины.

Применяя процедуру Фурье система уравнений (7) в безразмерном виде примет вид:

$$\ddot{q}_r + p_r^2 q_r = -St_c \frac{8Di}{r\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\ddot{q}_n}{n} - St_L \frac{8Di}{r\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{q_n}{n}, \quad (8)$$

Расщепляя полученную систему уравнений (8), получим:

$$\left\{ \begin{aligned} &\left(1 + St_c \frac{8Di}{l^2 \pi}\right) \ddot{q}_1 + \left(1^2 + St_L \frac{8Di}{l^2 \pi}\right) q_1 = 0; \\ &\left(1 + St_c \frac{8Di}{2^2 \pi}\right) \ddot{q}_2 + \left(2^2 + St_L \frac{8Di}{2^2 \pi}\right) q_2 = -St_c \frac{8Di}{1 \cdot 2 \pi} \ddot{q}_1 - St_L \frac{8Di}{1 \cdot 2 \pi} q_1; \\ &\left(1 + St_c \frac{8Di}{3^2 \pi}\right) \ddot{q}_3 + \left(3^2 + St_L \frac{8Di}{3^2 \pi}\right) q_3 = -St_c \frac{8Di}{1 \cdot 3 \pi} \ddot{q}_1 - St_c \frac{8Di}{2 \cdot 3 \pi} \ddot{q}_2 - \\ &\quad - St_L \frac{8Di}{1 \cdot 3 \pi} q_1 - St_L \frac{8}{2 \cdot 3 \pi} q_2; \\ &\dots; \\ &\left(1 + St_c \frac{8Di}{r^2 \pi}\right) \ddot{q}_r + \left(r^2 + St_L \frac{8Di}{r^2 \pi}\right) q_r = -\frac{8Di}{r\pi} \left((St_c \ddot{q}_1 + St_L q_1) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} (St_c \ddot{q}_2 + St_L q_2) + \dots + \frac{1}{r-1} (St_c \ddot{q}_{r-1} + St_L q_{r-1}) \right). \end{aligned} \right. \quad (9)$$

Рассматривая уравнения системы (9), в результате последовательного интегрирования системы получим затухающие функции с набором парциальных частот:

$$\omega_r^{(c,L)} = \sqrt{\frac{r^2 + St_L \frac{8Di}{r^2 \cdot \pi}}{1 + St_c \frac{8Di}{r^2 \cdot \pi}}}, \quad \{r = 1, 2, \dots\}. \quad (10)$$

Из (6) и (10), как для струны, так и для пружины видно, что наличие реактивных параметров влияет на частоты колебаний, таким образом изменяя инерционные и упругие свойства системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Томилин А.К., Байзакова Г.А. Параметрические колебания систем в нестационарном магнитном поле при наличии во внешней цепи емкости // Вестник ВКГТУ, №2, 2003. - Усть-Каменогорск. - С.39-44.
2. Томилин А.К. Колебания электромеханических систем с распределенными параметрами.- Усть-Каменогорск, 2004.- 272 с.
3. Томилин А.К., Байзакова Г.А. Управление свойствами пружинной подвески электромагнитным способом. Вестник КазНТУ им. Сатпаева К.И. № 2. (59) – Алматы, 2007. С. 115-119
4. Хвингия М.В. «Вибрации пружин» Машиностроение, М., 1969г.

*Восточно-Казахстанский государственный
технический университет им. Д. Серикбаева*

Поступила 11.12.2009 г.

УДК 665.63: 51.001.57

Ф.Т. Сериков, Б.Б. Оразбаев, Ш.К. Коданова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА АКВАТОРИИ МОРЯ

Разведка и освоение морских нефтегазоносных месторождений Северного Каспия повышает вероятность аварийных ситуаций, создающих загрязнения моря. К аварийным ситуациям, приводящим к выбросам загрязняющих нефтяных веществ в Каспийское море относятся следующие нефтяные операции и ситуации: бурение нефтегазовых скважин; эксплуатация морских нефтегазоносных месторождений; разрушение или повреждение подводных нефтегазопроводных коммуникаций; повреждение или разрушение нефтеналивных танкеров, грузовых и транспортных судов; повреждение или разрушение коммуникации при наливе и сливе нефтепродуктов в танкеры и из них; повреждение или разрушение береговых промышленных и бытовых объектов; естественные выбросы нефтяных и газовых веществ из грифонов и пластов [1].

К постоянно действующим источникам, загрязняющим море, можно отнести: загрязнители, поступающие из северных акваторий Каспия; выбросы грифонов и других природных источников; морские нефтегазодобывающие промысла; береговые промышленные и бытовые объекты городов; порты и морской транспорт; воды рек, впадающие в Каспийское море [2]. Все эти источники вместе создали современные условия загрязнения Каспийского моря.

Разработка углеводородных ресурсов моря дала и даст немало жизненных благ людям, но наряду с этим может приносить определенный ущерб окружающей среде. Загрязнение оказывает негативное влияние на физические, химические и биологические процессы, протекающие в море и на границах между морем, атмосферой и сушей. Возрастающая загрязненность моря нефтью вызывает повышенный интерес не только к методам борьбы с причинами такого загрязнения, но и к методам прогнозирования на основе моделирования и расчета распространения в море попавшей в него по той или иной причине нефти. Рассмотрим проблему математического моделирования возможных аварийных ситуаций в условиях Северного Каспия в результате проведения нефтяных операций [3,4].

Распространение нефти в море представляет собой сложный процесс, при описании которого необходимо учитывать большое количество разнообразных факторов. В случае мгновенного локального разлива некоторого объема, этот процесс схематически можно представить следующим