

Н. В. СЯБИНА, О. З. РУТГАЙЗЕР

**МАГИСТРАЛЬНЫЙ ТРУБОПРОВОД, ПРОЛОЖЕННЫЙ ПО
ПЕРЕСЕЧЕННОЙ МЕСТНОСТИ, КАК ОБЪЕКТ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

The length of pipeline with gas-air parts, which is functioning in the broken terrain, is being considered in the article. The pipe line is being considered as nonlinear object, for which the conditions of periodical pressure vibrations are investigated. The characteristics of auto vibrations (amplitude and frequency) are determined with the help of automatic control theory. The graphs of nonlinear booster coefficient and relative amplitude are presented. The conditions of stable pressure auto vibrations in the pipeline are determined. The received results could be used at the control of liquid pressure value.

Реальные системы в большей или меньшей степени являются нелинейными. При наличии воздушных включений жидкость, транспортируемая по магистральному трубопроводу, может рассматриваться как двухфазный поток [1, 2]. В работе [2] приводятся характеристики зависимости сил трения от скорости транспортирования нефти при изменении профиля трассы, на которых имеются нелинейные участки. Наличие нелинейной характеристики требует исследования ее влияния на свойства системы транспортировки жидкости при изменении профиля трассы и наличии газовоздушных скоплений.

В настоящей статье изложены исследования по управлению расходом жидкости на участке трубопровода с воздушными включениями в отношении возможности возникновения автоколебаний давления и определения их характеристик. В основу исследований положена система уравнений, полученных И. А. Чарным [3], которая позволяет на участке Δx от неоднородной системы с распределенными параметрами перейти к замкнутой системе с сосредоточенными параметрами:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \frac{\lambda \rho v^2}{8R}, \\ -\frac{\partial p}{\partial t} &= c^2 \frac{\partial(\rho v)}{\partial x}, \end{aligned} \quad (1)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; R – гидравлический радиус сечения; ρv – массовая скорость частиц жидкости; p – давление жидкости; c – скорость звука в данной среде.

Уравнения (1) содержат нелинейный член $\frac{\lambda \rho v^2}{8R} = 2av^2$ [4]. Учитывая, что

$$M = \rho v f, \quad (2)$$

где M – массовый расход, f – площадь сечения трубы, и переходя к производным в точке x , получим систему для функций массового расхода и давления:

$$\begin{aligned} \frac{dM}{dt} &= f \frac{\Delta p}{\Delta x} - 2aM_1; \\ \frac{dp}{dt} &= c^2 \frac{\Delta M}{\Delta x}. \end{aligned} \quad (3)$$

Используя систему (3), положим:

$$W_1(s) = \frac{P(s)}{M_1(s) - M_2(s)} = k_1 \frac{1}{s}, \quad k_1 = \frac{c^2}{\Delta x}; \quad (4)$$

$$W_2(s) = \frac{v(s)}{P(s)} = k_2 \frac{1}{s}, \quad k_2 = \frac{1}{\rho f \Delta x}. \quad (5)$$

При достаточно больших скоростях, величина запаздывания τ при транспортировании жидкости на участке Δx незначительна, поэтому для упрощения расчетов изменение фазового сдвига объекта представим апериодическим звеном первого порядка $W_3(s)$:

$$W_3(s) = \frac{M_2(s)}{v(s)} = k_3 \frac{1}{T_1 s + 1}, \quad k_3 = \rho f. \quad (6)$$

Вместо коэффициента $2a$, введем нелинейность, которая учитывает воздушные включения в потоке жидкости.

Из приведенных в [2] графиков зависимости $P_{тр}(v)$ видно, что в системе имеет место нелинейность $Z_{н\tau}$, что соответствует характеристике звена с насыщением и смещением $x^0 = v^0$, где v^0 – величина, характеризующая

скоростной режим в трубопроводе [3]. Причем, параметры нелинейности зависят от количества воздуха [2]. Примем в качестве нелинейности зависимость $P_{тр}(v)$, близкую к типовой (рис. 1).

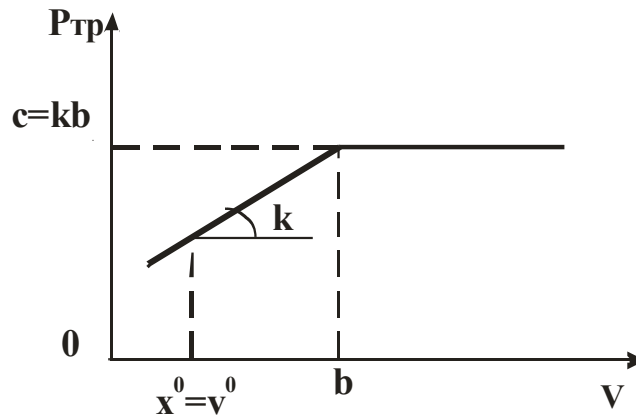
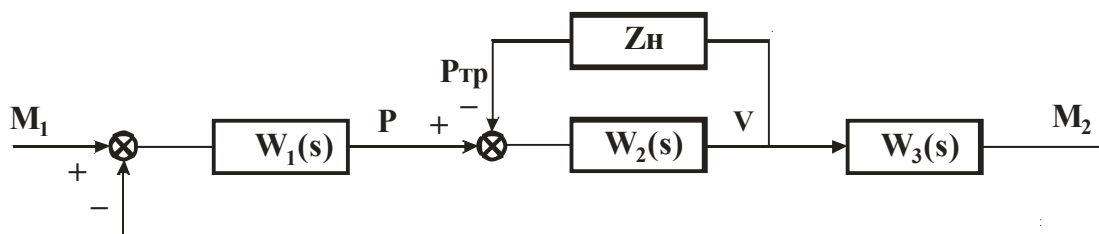


Рис. 1. Нелинейная зависимость потерь давления на трение $P_{тр}$ от усредненной скорости жидкости v

С учетом (4)-(6) структурная схема объекта управления (рис. 2) имеет вид:



M_1, M_2 – массовый расход; P - давление на участке; $P_{тр}$ – потери давления на трение; v – усредненная скорость жидкости; Z_n – нелинейная зависимость $P_{тр}(v)$

Рис. 2. Структурная схема объекта управления

Передаточная функция замкнутой системы примет вид:

$$W(s) = \frac{P(s)}{M_1(s)} = \frac{W_1(s)}{1 + \frac{W_1(s)W_2(s)W_3(s)}{1 + W_2(s)Z_n}} = \frac{W_1(s) + W_1(s)W_2(s)Z_n}{1 + W_2(s)Z_n + W_1(s)W_2(s)W_3(s)}. \quad (7)$$

После подстановки значений $W_1(s)$, $W_2(s)$ и $W_3(s)$:

$$W(s) = \frac{k_1 s + k_1 k_2 Z_n}{s^2 [s^2 (T_1 s + 1) + s k_2 Z_n (T_1 s + 1) + k_1 k_2 k_3]} \quad (8)$$

Характеристическое уравнение замкнутой системы имеет вид:

$$s^2 (T_1 s + 1) + s k_2 Z_n (T_1 s + 1) + k_1 k_2 k_3 = 0. \quad (9)$$

После раскрытия скобок и подстановки $s=j\omega$, уравнение (9) примет вид:

$$T_1 (j\omega)^3 + (1 + T_1 k_2 Z_n) (j\omega)^2 + k_2 Z_n (j\omega) + k_1 k_2 k_3 = 0. \quad (10)$$

Разделяя переменные, имеем:

$$\begin{cases} X(\omega, a) = k_1 k_2 k_3 - \omega_n^2 (1 + T_1 k_2 Z_n) \\ Y(\omega, a) = k_2 \omega_n Z_n - T_1 \omega_n^3 \end{cases} \quad (11)$$

Тогда из второго уравнения системы (11) для возможной периодической частоты колебаний ω_n имеем:

$$\omega_n (k_2 Z_n - T_1 \omega_n^2) = 0, \quad (12)$$

$$\omega_n^2 = \frac{k_2}{T_1} Z_n. \quad (13)$$

Подставляя значение ω_n в первое уравнение системы (11), получим:

$$k_1 k_2 k_3 - \frac{k_2 Z_n}{T_1} (1 + T_1 k_2 Z_n) = 0, \quad (14)$$

$$T_1 k_2 Z_n^2 + Z_n - T_1 k_1 k_3 = 0. \quad (15)$$

Отсюда гармонический коэффициент усиления нелинейности $q(a)$ равен:

$$q(a) = Z_n(a) = \frac{-1 \pm \sqrt{1 + 4T_1^2 k_1 k_2 k_3}}{2T_1 k_2}. \quad (16)$$

Проанализируем изменение значения коэффициента гармонической линеаризации $q(a)$. Поскольку скорость жидкости изменяется, постоянная составляющая x^0 также изменяется. При несимметричных колебаниях для характеристики нелинейности (рис. 1) имеем [5]:

$$q(a) = \frac{k}{\pi} \left[\arcsin \frac{b-x^0}{a} + \arcsin \frac{b+x^0}{a} + \frac{b-x^0}{a} \sqrt{1 - \left(\frac{b-x^0}{a} \right)^2} + \frac{b+x^0}{a} \sqrt{1 - \left(\frac{b+x^0}{a} \right)^2} \right], \quad (17)$$

где a – амплитуда периодических колебаний.

График зависимости $q(a)$ представлен рис. 3.

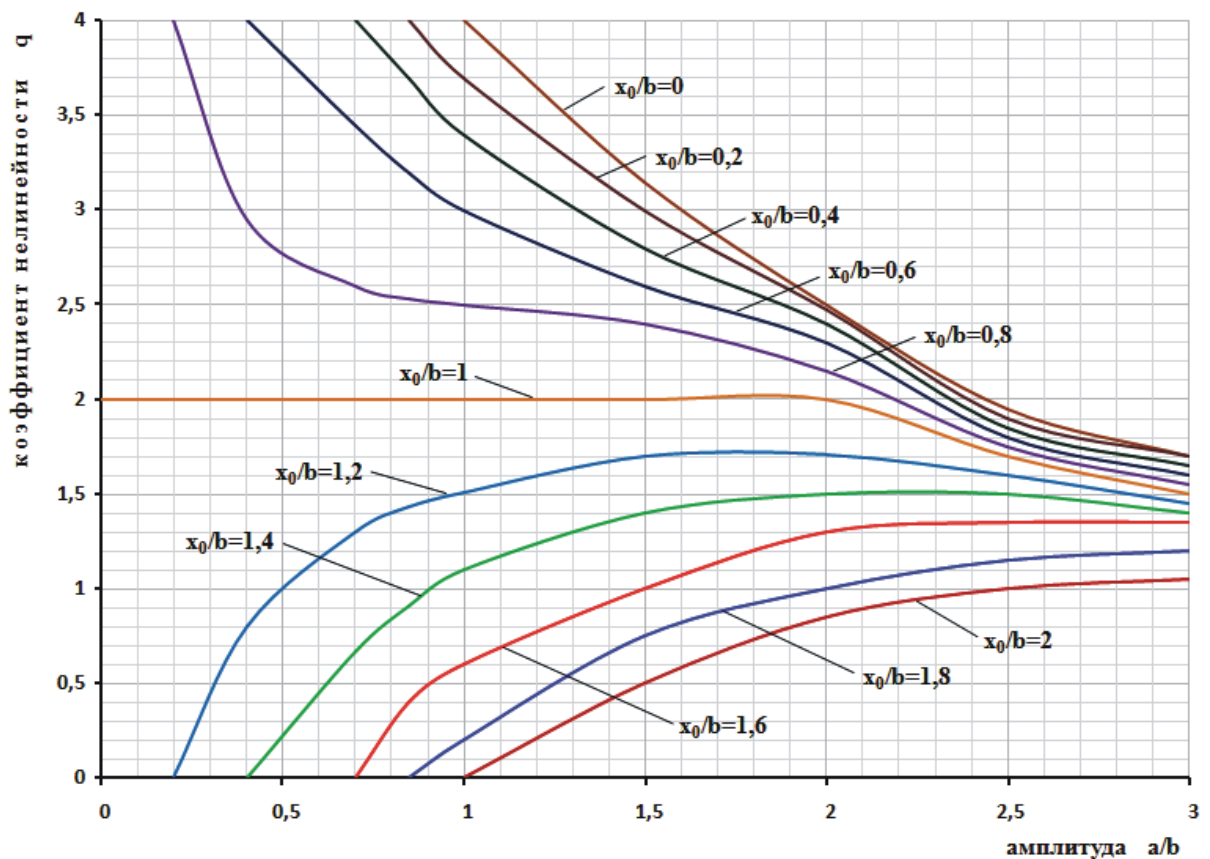


Рис. 3. Зависимость коэффициента гармонической линейризации q от амплитуды a/b

Тогда диаграмма зависимости относительной амплитуды периодических колебаний a/b от смещения начальной скорости x^0 и коэффициента усиления линейной части k_L , рассчитанная на компьютере в соответствии с формулами (16)-(17), будет выглядеть следующим образом (рис. 4):

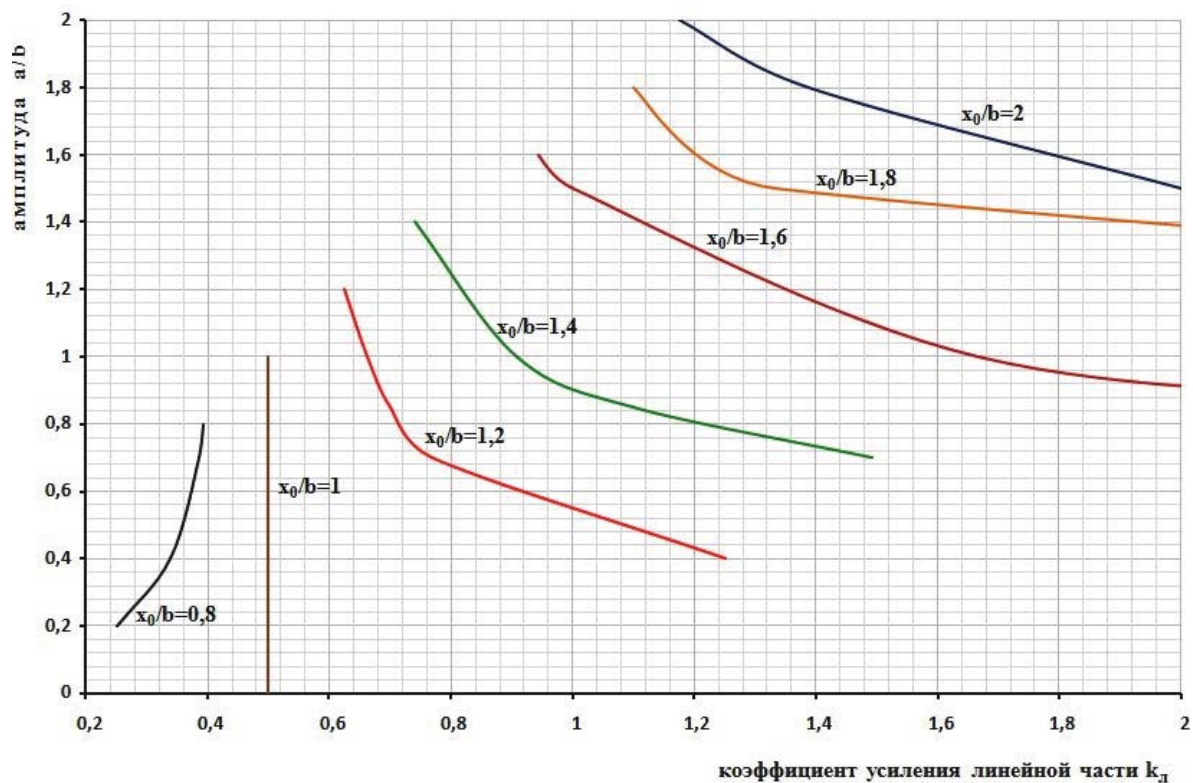


Рис. 4. Зависимость амплитуды периодических колебаний a/b от смещения начальной скорости x^0 и коэффициента усиления линейной части k_L

Для определения устойчивости периодических колебаний воспользуемся неравенством [6]:

$$\frac{\partial x}{\partial a} * \frac{\partial y}{\partial \omega} - \frac{\partial y}{\partial a} * \frac{\partial x}{\partial \omega} > 0. \quad (18)$$

Для его решения определим соответствующие производные, используя уравнения (11) и (15):

$$\frac{\partial x}{\partial a} = -\frac{\partial Z_n}{\partial a} (2T_1 k_2 Z_n + 1); \quad (19)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \omega} = -2k_2 Z_n; \quad (20)$$

$$\frac{\partial y}{\partial a} = k_2 \omega_n \frac{\partial Z_n}{\partial a}; \quad (21)$$

$$\frac{\partial x}{\partial \omega} = 0. \quad (22)$$

С учетом (19)-(22) неравенство (18) примет вид:

$$-\frac{\partial Z_n}{\partial a} * [2T_1 k_2 Z_n + I] * [-2k_2 Z_n] > 0; \quad (23)$$

$$\frac{\partial Z_n}{\partial a} * 2k_2 Z_n [2T_1 k_2 Z_n + I] > 0. \quad (24)$$

Из неравенства (24) видно, что устойчивость периодических колебаний на участке трубопровода, проложенного по пересеченной местности, возможна и будет зависеть от знака производной нелинейности по амплитуде колебаний. Знак производной $\frac{\partial q}{\partial a} = \frac{\partial Z_n}{\partial a}$ может быть определен

по рис. 3. При $\frac{\partial Z_n}{\partial a} > 0$ возникают автоколебания. Амплитуда автоколебаний и их частота ω_n зависит от количества воздуха и физических параметров нефти (от плотности в явном виде, от вязкости и температуры – в неявном). Появление в системе автоколебаний давления в трубопроводе возможно при соблюдении условия $x^0/b > 1$ (рис. 3).

Таким образом, при исследовании были определены условия возникновения устойчивых периодических колебаний давления жидкости в зависимости от наличия воздушных включений в трубопроводе. Полученные характеристики могут быть использованы при управлении величиной давления жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мамаев В. А., Одишария Г. Э., Клапчук О. В., Точигин А. А., Семенов Н.И.* Движение газожидкостных смесей в трубах. М.: Недра, 1978. 270 с.

2. *Кутуков С. Е., Бахтизин Р. Н., Шаммазов А. М.* Оценка влияния газового скопления на характеристику трубопровода //Нефтегазовое дело, 2003. http://www.ogbus.ru/authors/Kutukov/Kutukov_7.pdf

3. *Гусейнзаде М. А., Другина Л. И., Петрова О. Н., Степанова М. Ф.* Гидродинамические процессы в сложных трубопроводных системах. М.: Недра, 1991. 164 с.

4. *Гольянов А. А.* Обнаружение места утечек в магистральных нефтепродуктопроводах с помощью сканирующих импульсов давления. //Автореф. дисс. канд. техн. наук, 25.00.19. Уфа: УГНТУ, 2004. 22 с.

5. *Попов Е. П.* Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. 256 с.

6. *Бесекерский В. А., Попов Е.П.* Теория систем автоматического управления. СПб.: Изд-во «Профессия», 2004. 752 с.

Файл: 4_Сябина.doc
Каталог: X:\Полные журналы PDF\Вестник НИА РК\2008_№4
Шаблон: C:\Documents and Settings\Санду\Application
Data\Microsoft\Шаблоны\Normal.dotm
Заголовок: Современные технологии визуального моделирования
динамических систем
Содержание:
Автор: 1
Ключевые слова:
Заметки:
Дата создания: 24.11.2008 15:58:00
Число сохранений: 2
Дата сохранения: 24.11.2008 15:58:00
Сохранил: а
Полное время правки: 1 мин.
Дата печати: 07.12.2012 10:12:00
При последней печати
страниц: 8
слов: 1 132 (прибл.)
знаков: 6 456 (прибл.)