

Жежера Николай Илларионович

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИЛ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ И СИЛ ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ЖИДКОСТНОГО ПОРШНЯ В
ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБКЕ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ**

Проведен анализ на фазовой плоскости влияния сил поверхностного натяжения и сил вязкого трения различных жидкостей на перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройств контроля герметичности изделий. Установлено, что увеличение значения поверхностного натяжения жидкости, например, ртути по отношению к воде, приводит к более интенсивному затуханию переходного процесса. Силы вязкого трения при учете сил поверхностного натяжения жидкости также увеличивают степень затухания переходного процесса движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2012/9/16.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2012. № 9 (64). С. 58-63. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2012/9/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

С помощью сильфона 15 создается периодическое возмущение давления контрольного газа в эталонной емкости 3 и изделия 4 и принудительное перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке вперед-назад. С помощью дросселей 12 и 14 устанавливают жидкостный поршень 9 в горизонтальной трубке 8 в начальное положение. В некоторых устройствах контроля герметичности изделий газом горизонтальной трубке сообщается вибрация [3, 39; 4, 49]. Берется первый отсчет по прибору 13, например, при крайнем правом положении жидкостного поршня в горизонтальной трубке.

Испытывают изделие 4 в течение установленного времени и берут второй отсчет по прибору 13 при крайнем правом положении жидкостного поршня в горизонтальной трубке. По разности показаний показывающего прибора 13 делают заключение о герметичности изделия 4. Закончив контроль герметичности изделия, вентили 7, 10 и 5 закрывают и изделие 4 отключают от устройства контроля. При проведении исследовательских работ выполняют оценку динамической чувствительности контроля герметичности изделий с горизонтальной трубкой при изменении параметров устройства [5, с. 55].

В работах [2, 35; 6] разработано дифференциальное уравнение движения жидкостного поршня 9 в горизонтальной трубке 8 устройств контроля герметичности изделий, которое содержит инерционную силу движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, силу жидкостного трения, силу от упругости газа в изделии, нелинейную силу от действия поверхностного натяжения жидкости и силу от воздействия разности давлений, приложенной к жидкостному поршню со стороны эталонной емкости и изделия, контролируемого на герметичность.

Дифференциальное уравнение движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке применительно к устройству контроля герметичности изделий (Рисунок 1) в соответствии с [6] имеет вид

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \kappa_{\varepsilon, mp} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{E_{\varepsilon} F_{mp}^2}{V_{из}} x(t) + \begin{cases} +N_{\sigma}, nпу \ x(t) > 0; \\ -N_{\sigma}, nпу \ x(t) < 0; \\ -N_{\sigma} \leq N_{н/л}(t) \leq N_{\sigma}, nпу \ x(t) = 0 \end{cases} = \Delta P_{1-2}(t) \cdot F_{mp}, \quad (1)$$

где $m \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$ - инерционная сила движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, Н; $\kappa_{\varepsilon, mp} \frac{dx(t)}{dt}$ - сила жидкостного трения в ламинарном пограничном слое, зависящая от скорости движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, Н; $\frac{E_{\varepsilon} F_{mp}^2}{V_{из}} x(t)$ - сила, которую преодолевает жидкостный поршень при

движении в горизонтальной трубке от упругости газа в изделии, Н; $\begin{cases} +N_{\sigma}, nпу \ x(t) > 0; \\ -N_{\sigma}, nпу \ x(t) < 0; \\ -N_{\sigma} \leq N_{н/л}(t) \leq N_{\sigma}, nпу \ x(t) = 0 \end{cases}$ -

нелинейная сила от движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке и действия поверхностного натяжения жидкости, Н; $N_{овсж}(t) = \Delta P_{1-2}(t) \cdot F_{mp}$ - сила, приложенная к поршню горизонтальной трубки от воздействия разности давлений со стороны эталонной емкости и изделия из-за утечек контрольного газа из изделия, Н; m - масса жидкостного поршня в горизонтальной трубке, кг; $x(t)$ - перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке, м; $dx(t)/dt = \dot{x}(t)$ - скорость движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, м/с; $d^2 x(t)/dt^2$ - ускорение движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, м/с²; $\kappa_{\varepsilon, mp}$ - размерный коэффициент гидравлического трения при перемещении жидкостного поршня в трубке, Н·с/м; F_{mp} - площадь сечения горизонтальной трубки, м²; E_{ε} - модуль упругости контрольного газа, МПа; $V_{из}$ - объем изделия, контролируемого на герметичность, м³; N_{σ} - абсолютное значение силы от действия поверхностного натяжения жидкости поршня в горизонтальной трубке, Н; $\Delta P_{1-2}(t)$ - разность давлений $P_1(t)$ и $P_2(t)$, Н; $P_1(t)$, $P_2(t)$ - давление газа, приложенное к поршню горизонтальной трубки со стороны эталонной емкости и изделия, МПа.

Решение дифференциального уравнения движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке по выражению (1) имеет три варианта: при $\dot{x}(t) > 0$; $\dot{x}(t) < 0$ и $\dot{x}(t) = 0$. При $\dot{x}(t) = 0$ решение уравнения имеет вид

$$x = const \text{ при } \dot{x}(t) = 0$$

Поэтому анализ влияния сил поверхностного натяжения жидкости и сил вязкого трения на перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке проводится при $\dot{x}(t) > 0$ и $\dot{x}(t) < 0$, принимая в уравнении (1) при $\dot{x}(t) > 0$ и $\dot{x}(t) < 0$ силу $\Delta P_2(t) \cdot F_{mp} = 0$. При этих условиях уравнение (1) принимает вид

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \kappa_{z.mp} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{E_z F_{mp}^2}{V_{из}} x(t) = \begin{cases} -N_\sigma, & \text{при } \dot{x}(t) > 0; \\ +N_\sigma, & \text{при } \dot{x}(t) < 0; \end{cases} \quad x = const \text{ при } \dot{x}(t) = 0.$$

Принимаем обозначения: $E_z F_{mp}^2 / m V_{из} = \omega_0^2$, $\kappa_{z.mp} / m = 2\beta$ и $N_\sigma / m = \omega_0^2 \cdot b$ (ω_0 - частота, c^{-1} ; $\omega_0 = 1/T$, где T - постоянная времени, с; b - величина, имеющая размерность, м, и характеризующая зону нечувствительности в перемещении жидкостного поршня в горизонтальной трубке от сил поверхностного натяжения жидкости). На основании этих обозначений из выше приведенного выражения получим

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\beta \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 x(t) = \begin{cases} -\omega_0^2 b, & \text{при } \dot{x}(t) > 0; \\ +\omega_0^2 b, & \text{при } \dot{x}(t) < 0; \end{cases} \quad (2)$$

$$x = const \text{ при } \dot{x}(t) = \dot{x}(t) = 0.$$

Рассмотрим решение уравнений (2) для первых четырех полупериодов свободных движений после возмущения силой вперед, назад, вперед, назад. Второе выражение уравнения (2) имеет вид при $dx/dt < 0$ и $|x| > b$ (второе выражение рассматриваем первым потому, что график переходного процесса начинается с начального значения x_0 , которое имеет максимальное значение при $t = 0$, и с увеличением времени значения x_0 уменьшаются и соответственно - производная $dx/dt < 0$ после начальной точки)

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\beta \cdot \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 x(t) = \omega_0^2 \cdot b \quad (3)$$

$$\text{или } \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\beta \cdot \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 [x(t) - b] = 0$$

Введем новую переменную $x_{нов}(t) = [x(t) - b]$, определим первую и вторую производные и сделаем подстановку их в это выражение

$$\frac{d^2 x_{нов}(t)}{dt^2} + 2\beta \cdot \frac{dx_{нов}(t)}{dt} + \omega_0^2 x_{нов}(t) = 0$$

Решение этого уравнения имеет вид [9]

$$x_{нов}(t) = e^{\sigma t} (A \cos \omega t + B \sin \omega t),$$

где $\sigma = -\beta$.

Коэффициенты A и B определяются по начальным или краевым условиям. Принимая, что при $t=0, x(t)=x(0)=x_0$ и $dx(t)/dt = dx(0)/dt = 0$, определяем, что $A = x_0$; $B = -\sigma x_0 / \omega = \beta x_0 / \omega$. Таким образом, решение уравнения (3) принимает вид

$$x_{нов}(t) = x_0 e^{-\beta t} \left(\cos \omega t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right),$$

в котором $x_{нов}(t) = [x(t) - b]$ и, поэтому

$$x(t) = b + x_0 e^{-\beta t} \left(\cos \omega t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right) \text{ при } 0 \leq \omega t \leq \pi$$

или

$$x_1(t) = b + x_0 e^{-\beta t} \left(\cos \omega t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right) \text{ при } 0 \leq \omega t \leq \pi,$$

где $x(t) = x_1(t)$ - значение функции для первого полупериода $0 \leq \omega t \leq \pi$.

Это уравнение определяет движение жидкостного поршня в координатах перемещение - время $x(t) = f(t)$ в течение первого полупериода при $0 \leq \omega \cdot t \leq \pi$.

Первое выражение уравнения (2) имеет вид при $dx/dt > 0$; $|x| > b$

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\beta \cdot \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 x(t) = -\omega_0^2 \cdot b$$

$$\text{или } \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\beta \cdot \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 [x(t) + b] = 0. \text{ Введем новую переменную } x_{нов2}(t) = [x(t) + b], \text{ определим}$$

первую и вторую производные и сделаем подстановку их в это выражение

$$\frac{d^2 x_{нов2}(t)}{dt^2} + 2\beta \cdot \frac{dx_{нов2}(t)}{dt} + \omega_0^2 x_{нов2}(t) = 0$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$x_{нов2}(t) = e^{\sigma t} (A \cos \omega t + B \sin \omega t)$$

$$\text{или } x_{\text{нов2}}(t) = x_0 e^{-\beta t} \left(\cos \omega t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right),$$

в котором $x_{\text{нов2}}(t) = [x(t) + b]$, и начальное условие вместо x_0 будет равным $(x_0 e^{-\beta t} - 2b)$, поэтому

$$x(t) = -b + (x_0 e^{-\beta t} - 2b) \cdot \left(\cos \omega t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right)$$

при $\pi \leq \omega \cdot t \leq 2\pi$ и $(x_0 e^{-\beta t} > 2b)$

$$\text{или } x_2(t) = -b + (x_0 e^{-\beta t} - 2b) \cdot \left(\cos \omega t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right)$$

при $\pi \leq \omega \cdot t \leq 2\pi$ и $(x_0 e^{-\beta t} > 2b)$,

где $x(t) = x_2(t)$ - значение функции для второго полупериода $\pi \leq \omega \cdot t \leq 2\pi$.

Это уравнение определяет движение жидкостного поршня в координатах перемещение - время $x(t) = f(t)$ в течение второго полупериода при $\pi \leq \omega \cdot t \leq 2\pi$.

Аналогично получим уравнения движения жидкостного поршня в координатах перемещение - время $x(t) = f(t)$ в течение третьего и четвертого полупериодов

$$x_3(t) = b + (x_0 e^{-\beta t} - 4b) \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t]$$

при $2\pi \leq \omega t \leq 3\pi$ и $(x_0 e^{-\beta t} > 4b)$

(4)

$$x_4(t) = -b + (x_0 e^{-\beta t} - 6b) \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t]$$

при $3\pi \leq \omega t \leq 4\pi$ и $(x_0 e^{-\beta t} > 6b)$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - 0,5\beta}$; $\omega_0 = \sqrt{E_{\sigma} F_{mp}^2 / m V_{uz}}$; $\beta = \kappa_{\sigma, mp} / 2m$; $b = N_{\sigma} / m \omega_0^2$; x_0 - начальное перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке, мм.

Производные от $x_1(t)$ - $x_4(t)$ по времени для выражений (4), принимая обозначения от $y_1(t) = dx_1(t)/dt$ до $y_4(t) = dx_4(t)/dt$, имеют следующий вид:

$$y_1(t) = -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t$$

при $0 \leq \omega t \leq \pi$;

$$y_2(t) = -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t + 2b(\omega \sin \omega t - \beta \cos \omega t)$$

при $\pi \leq \omega t \leq 2\pi$ и $(x_0 e^{-\beta t} > 2b)$;

$$y_3(t) = -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t + 4b(\omega \sin \omega t - \beta \cos \omega t)$$

при $2\pi \leq \omega t \leq 3\pi$ и $(x_0 e^{-\beta t} > 4b)$;

(5)

$$y_4(t) = -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t + 6b(\omega \sin \omega t - \beta \cos \omega t)$$

при $3\pi \leq \omega t \leq 4\pi$ и $(x_0 e^{-\beta t} > 6b)$.

Если в выражениях (4) и (5) принять $\beta = 0$ и $b = 0$, тогда получим:

$$x(t) = x_1(t) = x_2(t) = x_3(t) = x_4(t) = x_0 \cos \omega t,$$

$$y(t) = y_1(t) = y_2(t) = y_3(t) = y_4(t) = -x_0 \omega \sin \omega t.$$

По этим выражениям при $x_0 = 100$ мм, $\omega = 4.14$ с⁻¹ построена кривая 1 на Рисунке 2.

Используя выше полученные выражения (4) и (5), проведем исследование влияния на движение жидкостного поршня в горизонтальной трубке: сил поверхностного натяжения жидкости жидкостного поршня в горизонтальной трубке; типа жидкости с различным значением поверхностного натяжения жидкости и совместного действия сил поверхностного натяжения жидкости и сил жидкостного трения.

Если в (4) и (5) принять $\beta = 0$ и $b \neq 0$, тогда получим:

$$x_1(t) = b + x_0 \cos \omega t \text{ и}$$

$$y_1(t) = -x_0 \omega \sin \omega t \text{ при } 0 \leq \omega t \leq \pi;$$

$$x_2(t) = -b + (x_0 - 2b) \cdot \cos \omega t \text{ и}$$

$$y_2(t) = -(x_0 - 2b) \cdot \omega \sin \omega t \text{ при } \pi \leq \omega t \leq 2\pi \text{ и } (x_0 > 2b);$$

$$x_3(t) = b + (x_0 - 4b) \cdot \cos \omega t \text{ и}$$

$$y_3(t) = -(x_0 - 4b) \cdot \omega \sin \omega t$$

(6)

при $2\pi \leq \omega t \leq 3\pi$ и $(x_0 > 4b)$;

$$x_4(t) = -b + (x_0 - 6b) \cdot \cos \omega t \text{ и}$$

$$y_4(t) = -(x_0 - 6b) \cdot \omega \sin \omega t$$

при $3\pi \leq \omega t \leq 4\pi$ и $(x_0 > 6b)$.

По выражениям (6) определены значения $x_1(t) - x_4(t)$ и $y_1(t) - y_4(t)$ и построены на Рисунке 2 кривая 2 при $\beta = 0 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$, $b = 6 \text{ мм}$ (для воды) и кривая 3 при $\beta = 0 \text{ с}^{-1}$, при $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$, $b = 40,3 \text{ мм}$ (для ртути). Кривая 1 для ртути или воды на Рисунке 2 может быть построена по выражениям (6) при $\beta = 0 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b = 0 \text{ мм}$.

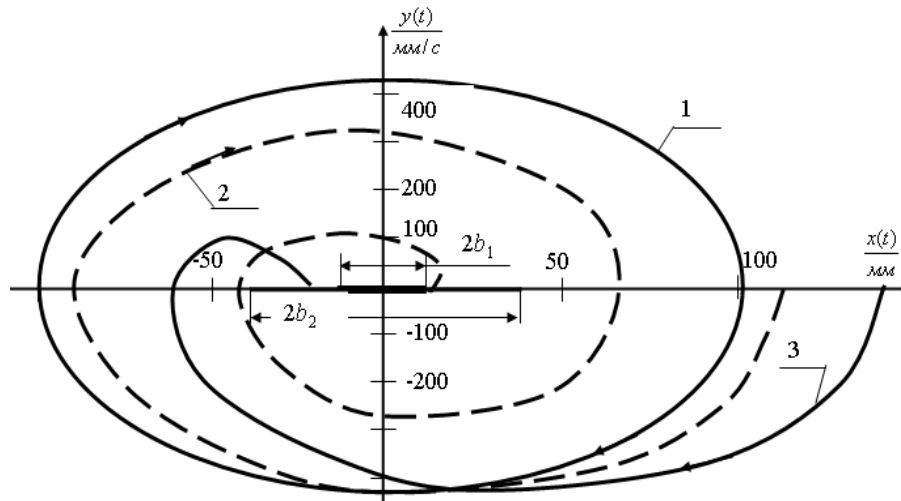


Рис. 2. Влияние сил поверхностного натяжения различных жидкостей на фазовые траектории движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, построенные по выражениям (6): кривая 1 построена при $\beta = 0 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$, $b = 0 \text{ мм}$ (для ртути и воды одна и та же кривая); кривая 2 - при $\beta = 0 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$, $b = 6 \text{ мм}$ (для воды); кривая 3 - при $\beta = 0 \text{ с}^{-1}$, при $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$, $b = 40,3 \text{ мм}$ (для ртути)

Если в (4) и (5) принять $b = 0$, а $\beta \neq 0$, тогда получим следующие выражения:

$$x(t) = x_1(t) = x_2(t) = x_3(t) = x_4(t) = x_0 e^{-\beta t} \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t];$$

$$y(t) = y_1(t) = y_2(t) = y_3(t) = y_4(t) = -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t.$$

Если в выражениях (4) и (5) $b \neq 0$ и $\beta \neq 0$, тогда получим данные, приведенные на Рисунке 3, характеризующие влияние сил вязкого трения при учете сил поверхностного натяжения жидкости на фазовые траектории движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке.

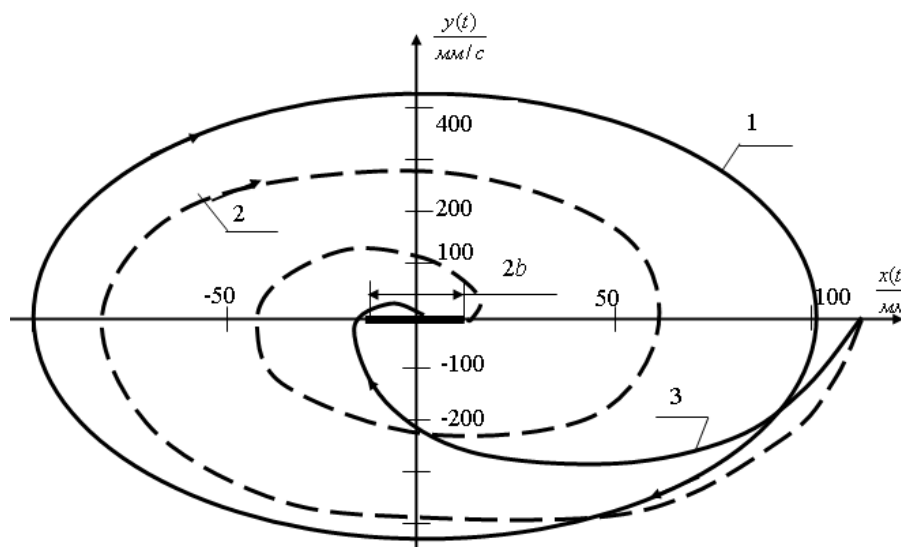


Рис. 3. Влияние сил вязкого трения при учете сил поверхностного натяжения жидкости (воды) на фазовые траектории движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройства контроля герметичности изделий: кривая 1 построена при $\beta = 0 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$, $b = 0 \text{ мм}$; кривая 2 - при $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100 \text{ мм}$, $b = 6 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$; кривая 3 - при $\beta = 1,872 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100 \text{ мм}$, $b = 6 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$

Поверхностное натяжение жидкости в горизонтальной трубке при движении жидкостного поршня при рассмотрении однородного дифференциального уравнения движения жидкостного поршня в трубке без учета сил вязкого трения приводит к соответствующему увеличению начального значения отклонения фазовой траектории на фазовой плоскости на значение, пропорциональное силе поверхностного натяжения жидкости.

Тип жидкости, характеризуемый определенным значением поверхностного натяжения, приводит к соответствующему смещению фазовых траекторий на полуплоскостях фазовой плоскости. В общем случае поверхностное натяжение жидкости в горизонтальной трубке способствует затуханию переходного процесса. Чем больше значение поверхностного натяжения жидкости, например, ртути по отношению к воде, тем более интенсивно происходит затухание переходного процесса. Силы вязкого трения при учете сил поверхностного натяжения жидкости также увеличивают степень затухания переходного процесса движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке.

Список литературы

1. Жежера Н. И. Выбор объема эталонной емкости при испытаниях изделий на герметичность газом с использованием пузырьковой камеры // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 5. С. 64-68.
2. Жежера Н. И. Дифференциальное уравнение движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройств контроля герметичности изделий // Альманах современной науки и образования. 2012. № 7. С. 35-39.
3. Жежера Н. И. Определение необходимой частоты продольной вибрации барботажной трубки устройств контроля герметичности изделий с использованием пузырьковой камеры // Альманах современной науки и образования. 2012. № 7. С. 39-44.
4. Жежера Н. И. Определение необходимой частоты продольной вибрации горизонтальной трубки устройств контроля герметичности изделий // Альманах современной науки и образования. 2012. № 6. С. 49-54.
5. Жежера Н. И. Оценка динамической чувствительности контроля герметичности изделий с горизонтальной трубкой при изменении параметров устройства // Альманах современной науки и образования. 2012. № 6. С. 55-58.
6. Жежера Н. И. Развитие теории и совершенствование автоматизированных систем испытаний изделий на герметичность: автореф. дисс. ... д.т.н. / Оренбургский государственный университет. Оренбург, 2004.
7. Жежера Н. И. Утечки жидкости из вибрируемых изделий, испытываемых на герметичность // Альманах современной науки и образования. 2012. № 5. С. 56-60.
8. Жежера Н. И., Самойлов Н. Г. Теоретические положения к устройству измерения динамической составляющей расхода газа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2012. № 4. С. 47-50.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: определения, теоремы, формулы / пер. с американского. М.: Наука, 1984. 831 с.

УДК 681.5:620.165.29.008.6 (075.8)

Технические науки

Проведен анализ линейной части дифференциального уравнения движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройств контроля герметичности изделий. Установлено, что в динамическом отношении горизонтальная трубка с жидкостным поршнем может быть колебательным или аperiodическим звеном второго порядка в зависимости от конструктивных параметров горизонтальной трубки и объема контролируемого на герметичность изделия. Полученные результаты теоретических положений позволяют проводить практические исследования влияния различных технологических и конструктивных параметров на колебательность переходных процессов устройств контроля герметичности изделий с горизонтальной трубкой и систем автоматического управления периодическими возмущениями давления пробной среды в изделии и эталонной емкости.

Ключевые слова и фразы: герметичность; контроль; изделие; анализ; дифференциальное уравнение; линейная часть; жидкостный поршень; движение; горизонтальная трубка; фазовые траектории.

Николай Илларионович Жежера, д.т.н., профессор

Кафедра систем автоматизации производства

Оренбургский государственный университет

nik-gegera@rambler.ru

АНАЛИЗ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТНОГО ПОРШНЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБКЕ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ[©]

Схема базового устройства контроля герметичности изделий газом с использованием горизонтальной трубки приведена на Рисунке 1. Устройство содержит источник контрольного газа 1, эталонную емкость 3,