

Жежера Николай Илларионович

**АНАЛИЗ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ
ЖИДКОСТНОГО ПОРШНЯ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБКЕ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ
ГЕРМЕТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ**

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 апериодическим 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.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2012/9/17.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. 63-68. 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

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,

контролируемое на герметичность изделие 4, горизонтальную трубку 8 с жидкостным поршнем 9, вентили 2, 5, 6, 7 и 10, емкостный измерительный преобразователь 11, вторичный показывающий прибор 13, дроссели 12 и 14 и сильфон 15. Сильфон 15 предназначен для создания периодических возмущений давления контрольного газа в эталонной емкости, изделии и периодического перемещения вперед-назад жидкостного поршня в горизонтальной трубке.

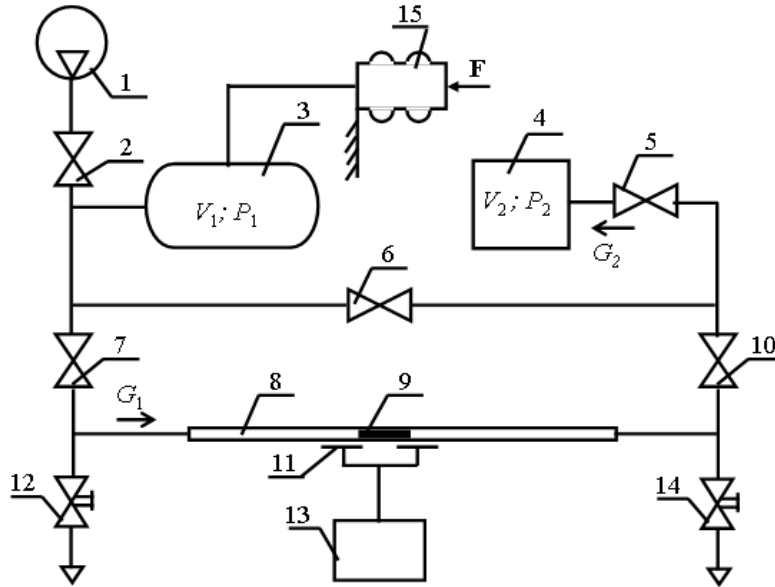


Рис. 1. Схема устройства контроля герметичности изделий газом с использованием горизонтальной трубки

Перед подключением изделия 4 к устройству контроля выбирают объем эталонной емкости по методике [1, с. 64] и все вентили и дроссели переводят в закрытое положение. После подключения изделия к устройству контроля герметичности изделий заполняют его газом до заданного давления, для чего открывают вентили 2, 6 и 5. Закрывают вентиль 2 и открывают вентили 7 и 10, через которые подается газ к горизонтальной трубке. С помощью сильфона 15 создается периодическое возмущение давления контрольного газа в эталонной емкости 3 и изделии 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.

Берется первый отсчет по прибору 13, например, при крайнем правом положении жидкостного поршня в горизонтальной трубке. В некоторых системах контроля герметичности изделие 4 вибрируют [4, с. 49], поэтому включают вибраторы.

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.

В работах [2, с. 35; 7] 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 [7] имеет вид:

$$N_{ii}(t) + N_{ж.мп}(t) + N_{уп}(t) + N_{н/л}(t) = N_{движ}(t)$$

$$\text{или } m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \kappa_{ж.мп} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{E_c F_{мп}^2}{V_{из}} x(t) + \begin{cases} +N_{\sigma}, \text{ при } x(t) > 0; \\ -N_{\sigma}, \text{ при } x(t) < 0; \\ -N_{\sigma} \leq N_{н/л}(t) \leq N_{\sigma}, \text{ при } x(t) = 0 \end{cases} = \Delta P_{1-2}(t) \cdot F_{мп}, \quad (1)$$

где $N_u(t) = m \frac{d^2 x(t)}{dt^2}$ - инерционная сила движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, Н;
 $N_{ж.тр}(t) = \kappa_{ж.тр} \frac{dx(t)}{dt}$ - сила жидкостного трения в ламинарном пограничном слое, зависящая от скорости движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке, Н; $N_{упр}(t) = \frac{E_z F_{мп}^2}{V_{из}} x(t)$ - сила, которую преодолевает жидкостный поршень при движении в горизонтальной трубке от упругости газа в изделии, Н;
 $N_{н/л}(t) = \begin{cases} +N_{\sigma, нпу} x(t) > 0; \\ -N_{\sigma, нпу} x(t) < 0; \\ -N_{\sigma} \leq N_{н/л}(t) \leq N_{\sigma, нпу} x(t) = 0 \end{cases}$ - нелинейная сила от движения жидкостного поршня в горизонтальной

трубке и действия поверхностного натяжения жидкости, Н; $N_{овжс}(t) = \Delta P_{1-2}(t) \cdot F_{мп}$ - 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; $\kappa_{ж.тр}$ - размерный коэффициент гидравлического трения при перемещении жидкостного поршня в трубке, Н·с/м; $F_{мп}$ - площадь сечения горизонтальной трубки, м²; E_z - 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.

Линейная часть дифференциального уравнения (1) движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройств контроля герметичности изделий имеет вид

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \kappa_{ж.тр} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{E_z F_{мп}^2}{V_{из}} x(t) = \Delta P_{1-2}(t) \cdot F_{мп}$$

После преобразования по Лапласу этого уравнения получим

$$\left(ms^2 + \kappa_{ж.тр} s + \frac{E_z F_{мп}^2}{V_{из}} \right) x(s) = F_{мп} \Delta P_{1-2}(s)$$

Передаточная функция $W_{x/\Delta P}(s)$ перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке $x(s)$ относительно разности давлений, приложенной к жидкостному поршню $\Delta P_{1-2}(s)$, определенная из этого выражения, имеет вид

$$W_{x/\Delta P}(s) = \frac{x(s)}{\Delta P_{1-2}(s) F_{мп}} = \frac{V_{из}}{E_z F_{мп}^2} \cdot \frac{1}{\frac{m V_{из}}{E_z F_{мп}^2} s^2 + \frac{\kappa_{ж.тр} V_{из}}{E_z F_{мп}^2} s + 1} = \frac{V_{из}}{E_z F_{мп}^2 (T^2 s^2 + 2\xi T s + 1)}, \quad (2)$$

где T и ξ - постоянная времени, с, и коэффициент демпфирования, определяемые по выражениям

$$T = \frac{1}{F_{мп}} \sqrt{\frac{m V_{из}}{E_z}} \quad (3)$$

$$\xi = \frac{\kappa_{ж.тр}}{2 F_{мп}} \sqrt{\frac{V_{из}}{m E_z}} \quad (4)$$

Определим значения T и ξ для двух различных диаметров горизонтальной трубки и объемов контролируемых на герметичность изделий. Для горизонтальной трубки диаметром $d_{мп} = 4 \cdot 10^{-3}$ м, изделия объемом $V_{из} = 0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,2$ м³ = 0,032 м³, длины жидкостного поршня в горизонтальной трубке $l_{порш} = 15 \cdot 10^{-3}$ м, плотности жидкости (воды) $\rho = 998$ кг/м³, динамической вязкости жидкости (воды) $\mu = 1,05 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м² и модуля упругости газа (воздуха) $E_z = 0,127 \cdot 10^6$ Па [8, 56] получим, что постоянная времени $T = 0,546$ с и $\xi = 2,29$.

Для горизонтальной трубки диаметром $d_{мп} = 6 \cdot 10^{-3}$ м, изделия объемом $V_{из} = 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,1$ м³ = 0,004 м³, длины жидкостного поршня в горизонтальной трубке $l_{порш} = 50 \cdot 10^{-3}$ м, плотности жидкости $\rho = 998$ кг/м³, динамической вязкости жидкости $\mu = 1,05 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м² и модуля упругости газа (воздуха) $E_z = 0,127 \cdot 10^6$ Па получим, что постоянная времени $T = 0,235$ с и $\xi = 0,440$.

Характеристическое уравнение движение жидкостного поршня в трубке в соответствии с передаточной функцией (2)

$$E_z F_{mp}^2 (T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1) = 0 \text{ или } T^2 s^2 + 2\xi Ts + 1 = 0$$

после введения обозначений $E_z F_{mp}^2 / mV_{из} = \omega_0^2$ (ω_0 - частота, c^{-1} , и, учитывая (3), получим, что $\omega_0 = 1/T$, где T - постоянная времени, с), $\kappa_{z,mp} / m = 2\beta$ (β - коэффициент демпфирования, c^{-1}) принимает вид

$$(s^2 + 2\beta s + \omega_0^2)x(s) = 0$$

$$\text{или } \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\beta \cdot \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 x(t) = 0 \quad (5)$$

Из выражения $\kappa_{z,mp} / m = 2\beta$, с учетом формул (3) и (4), получим $\beta = \xi / T$. Согласно выше приведенным расчетам для устройства с горизонтальной трубкой как колебательного звена $T = 0,235$ с, $\xi = 0,440$. В этом случае $\omega_0 = 4,255$; $\beta = 1,872$ c^{-1} . Корни характеристического уравнения (5) имеют следующие значения: $\lambda_{1,2} = -1,872 \pm 3,821i$. Если корни комплексные, тогда решение уравнения (5) [10], представляемого как

$$a_0 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_2(t) = 0, \text{ имеет вид}$$

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

$$\text{где } \sigma = -\frac{a_1}{2a_0} = -\frac{2\beta}{2} = -\beta; \quad \omega = \frac{\sqrt{4a_0 a_2 - a_1^2}}{2a_0} = \frac{\sqrt{4\omega_0^2 - 2\beta}}{2}.$$

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 $A = x_0$; $B = -\sigma x_0 / \omega$. Решение уравнения (5) принимает вид

$$x(t) = x_0 e^{-\beta t} \left(\cos \omega t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega t \right) \quad (6)$$

или после подстановки численных значений коэффициентов

$$x(t) = x_0 e^{-1,872t} (0,452 \sin 4,14t + \cos 4,14t) \quad (7)$$

Введем обозначение $dx(t)/dt = y(t)$ и определим $y(t)$ из выражения (6)

$$y(t) = -x_0 e^{-\beta t} \left(\frac{\beta^2}{\omega} + \omega \right) \sin \omega t \quad (8)$$

или после подстановки численных значений

$$y(t) = -4,986 x_0 e^{-1,872t} \sin 4,14t \quad (9)$$

Вычисленные значения $x(t)$ и $y(t)$ по выражениям (7) и (9) при $x_0 = 100$ мм и $\beta = 1,872$ c^{-1} приведены на Рисунке 2 (кривая 1).

Для устройства контроля герметичности изделий с горизонтальной трубкой как апериодического звена второго порядка $T = 0,546$ с, $\xi = 2,29$. В этом случае $\omega_0 = 1,182$ $1/c$; $\beta = 4,194$ c^{-1} . Корни характеристического уравнения (5) имеют следующие значения: $\lambda_1 = -8,218$; $\lambda_2 = -0,17$.

Решение уравнения (5) [Там же], если корни характеристического уравнения действительные, представляемого как $a_0 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + a_2(t) = 0$, имеет вид $x(t) = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t}$. Принимая, что при $t=0$ $x(t)=x(0)=x_0$

и $dx(t)/dt = dx(0)/dt = 0$, определяем, что $C_1 = x_0 \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$ и $C_2 = -x_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$. Решение принимает вид

$$x(t) = x_0 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_2 t} \right) \quad (10)$$

или после подстановки численных значений

$$x(t) = x_0 (1,021 e^{-0,17t} - 0,021 e^{-8,218t}) \quad (11)$$

Введем обозначение $dx(t)/dt = y(t)$ и определим $y(t)$ из выражения (10)

$$y(t) = \frac{x_0 \lambda_1 \lambda_2}{(\lambda_2 - \lambda_1)} (e^{\lambda_1 t} - e^{\lambda_2 t})$$

или после подстановки численных значений

$$y(t) = 0,174 x_0 (e^{-8,218t} - e^{-0,17t}) \quad (12)$$

Вычисленные значения $x(t)$ и $y(t)$ по выражениям (11) и (12) при $x_0 = 100$ мм приведены на Рисунке 2 (кривая 2).

Если коэффициент демпфирования $\xi = 0,035$ и постоянная времени $T = 0,235$ с, тогда коэффициент $\beta = 0,15$ c^{-1} и выражения (6) и (8) принимают вид:

$$x(t) = x_0 e^{-0,15t} (0,036 \sin 4,14t + \cos 4,14t)$$

$$y(t) = -4,14 x_0 e^{-0,15t} \sin 4,14t$$

Вычисленные значения $x(t)$ и $y(t)$ по этим выражениям при $x_0=100$ мм приведены на Рисунке 2 (кривая 3). Если коэффициент демпфирования $\xi = 0$ и $T = 0,235$ с, тогда $\beta = 0$ с⁻¹ и выражения (6) и (8) принимают вид: $x(t) = x_0 \cos 4,14t$; $y(t) = -4,14x_0 \sin 4,14t$.

Вычисленные значения $x(t)$ и $y(t)$ по этим выражениям при $x_0=100$ мм приведены на Рисунке 2 (кривая 4).

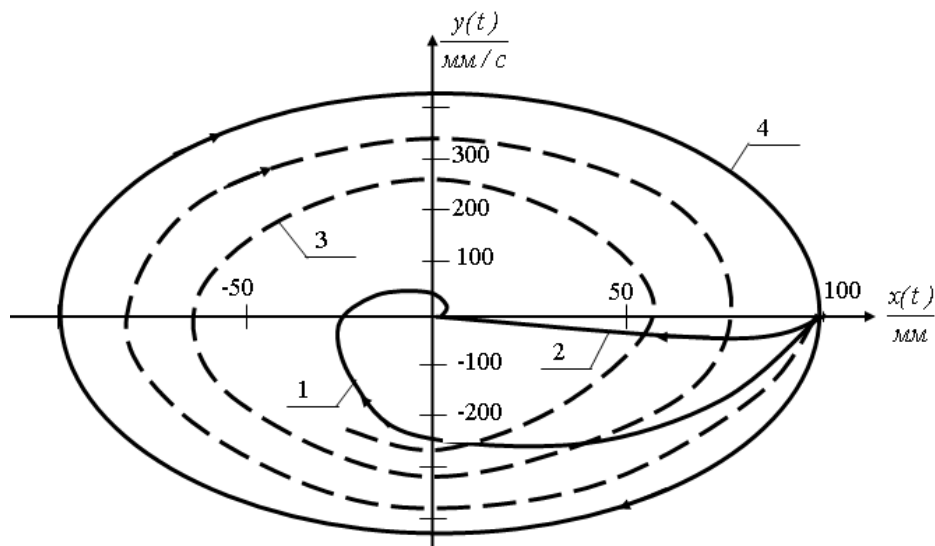


Рис. 2. Фазовые траектории, построенные по характеристическому уравнению передаточной функции движения жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройства контроля герметичности изделий: а) как колебательного звена: кривая 1 - при $\xi = 0,440$, $T = 0,235$ с, $\beta = 1,872$ с⁻¹; кривая 3 - при $\xi = 0,035$, $T = 0,235$ с, $\beta = 0,15$ с⁻¹; кривая 4 - при $\xi = 0$, $T = 0,235$ с, $\beta = 0$ с⁻¹; б) как аperiodического звена второго порядка - кривая 2 - при $\xi = 2,29$, $T = 0,546$ с, $\beta = 4,194$ с⁻¹

Изделия, контролируемые на герметичность в условиях предприятий, имеют объемы, изменяющиеся в широком диапазоне. Например, для трубопроводной арматуры с условным диаметром от 100 до 400 мм объем $V_{из}$ изменяется от 0,001 до 0,064 м³. При использовании горизонтальных трубок диаметром $d_{тр} = 4 \cdot 10^{-3}$ м или $d_{тр} = 6 \cdot 10^{-3}$ м, получим, что постоянная времени изменяется от $T = 0,235$ с до $T = 0,546$ с и коэффициент демпфирования от $\xi = 0,035$ до $\xi = 2,29$. Влияние этих данных отражено фазовыми траекториями 1-3 на Рисунке 2, которые показывают, что степень колебательности системы контроля герметичности изделий с горизонтальной трубкой может изменяться от $\xi = 0$ до $\xi \gg 1$ в зависимости от конструктивных параметров горизонтальной трубки и изделия, контролируемого на герметичность.

Таким образом, 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.

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. Потери давления на формирование пузырьков сжатого воздуха на срезе барботажной трубки при испытаниях изделий на герметичность пузырьковым камерным способом // Альманах современной науки и образования. 2012. № 7. С. 44-48.

7. Жежера Н. И. Развитие теории и совершенствование автоматизированных систем испытаний изделий на герметичность: автореф. дисс. ... д.т.н. / Оренбургский государственный университет. Оренбург, 2004.
8. Жежера Н. И. Утечки жидкости из вибрируемых изделий, испытываемых на герметичность // Альманах современной науки и образования. 2012. № 5. С. 56-60.
9. 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.
10. 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

Установлены дифференциальное уравнение и передаточная функция расхода газа через горизонтальную трубку относительно утечек газа из изделия. Определены аналитические выражения для проводимости и гидравлического сопротивления горизонтальной трубки в зависимости от ее диаметра, длины, испытательного давления и свойств контрольного газа. Выявлено влияние объемов эталонной емкости и изделия на динамические свойства устройства испытаний изделий на герметичность.

Ключевые слова и фразы: герметичность; изделие; испытание; горизонтальная трубка; дифференциальное уравнение; расход; утечки газа; проводимость; гидравлическое сопротивление.

Николай Илларионович Жежера, д.т.н., профессор
Кафедра систем автоматизации производства
Оренбургский государственный университет
nik-gegera@rambler.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСХОДА ГАЗА ЧЕРЕЗ ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ТРУБКУ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ИЗДЕЛИЙ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ[©]

Испытания на герметичность изделий манометрическим методом по давлению проводятся обычно путем подачи в изделие контрольного газа (сжатого воздуха, гелия или смеси сжатого воздуха с гелием) заданного давления от источника, затем изделие отсоединяется от источника газа и берется первый отсчет давления по шкале прибора, подсоединенного к изделию. Изделие выдерживают под установленным давлением в течение заданного промежутка времени, берется второй отсчет по шкале прибора давления и по разности давлений делается заключение о герметичности изделия [4; 8].

Схема базового устройства для испытаний изделий на герметичность газом с использованием горизонтальной трубки приведена на Рисунке 1. Устройство содержит источник контрольного газа 1, эталонную емкость 3, объем которой выбирается по методике [2, с. 64], испытываемое на герметичность изделие 4, горизонтальную трубку 8 с жидкостным поршнем 9, вентили 2, 5, 6, 7 и 10, емкостный измерительный преобразователь 11, вторичный показывающий прибор 13 и дроссели 12 и 14. Перед подключением изделия 4 к устройству для испытаний все вентили и дроссели находятся в закрытом положении.

После подключения изделия к устройству испытаний заполняют его газом до заданного давления, для чего открывают вентили 2, 6 и 5. После этого закрывают вентиль 2 и открывают вентили 7 и 10, через которые подается газ к горизонтальной трубке. С помощью дросселей 12 и 14 устанавливают жидкостный поршень 9 в горизонтальной трубке 8 в начальное положение. В некоторых устройствах испытаний изделий на герметичность горизонтальной трубке 8 сообщается вибрация [6, с. 49]. Берется первый отсчет по прибору 13, показывающему положение жидкостного поршня 9 в горизонтальной трубке 8. Испытывают изделие 4 в течение установленного времени и берут второй отсчет по прибору 13. По разности показаний показывающего прибора 13 делают заключение о герметичности изделия 4. Закончив испытания изделия на герметичность, вентили 7, 10 и 5 закрывают и изделие 4 отключают от устройства испытаний.

Для проектирования устройств испытаний изделий на герметичность с использованием горизонтальной трубки важно установить теоретические положения о влиянии сил трения и капиллярных сил [5, с. 39; 9, с. 56], с учетом воздействия инерционных сил [3, с. 35], на движение жидкостного поршня в горизонтальной трубке и выбираемый диаметр горизонтальной трубки, а также провести оценку динамической чувствительности контроля герметичности изделий [7, с. 55].

Математическое моделирование расхода газа через горизонтальную трубку (Рисунок 1) проводится с той целью, чтобы установить влияние объемов эталонной емкости, изделия и их соотношения на погрешность измерений утечек газа горизонтальной трубкой и оценить динамические свойства устройства с горизонтальной трубкой, среди которых важнейшими, например, являются время переходного процесса и запаздывание от момента начала испытаний изделия до начального смещения жидкостного поршня.