

Жежера Николай Илларионович

**АНАЛИЗ ПО ФАЗОВЫМ ТРАЕКТОРИЯМ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ
УСТРОЙСТВОМ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБКОЙ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ
ДАВЛЕНИЯ ПРОБНОГО ГАЗА**

Проведен теоретический анализ по фазовым траекториям контроля герметичности изделий устройством, в которое подводятся периодические возмущения по давлению пробного газа. Установлено, что подведение переменной составляющей - периодических возмущений по давлению - в устройство контроля герметичности изделий придает нелинейному звену - горизонтальной трубке с жидкостным поршнем - свойства пропорционального линейного звена. Перепад давлений на жидкостном поршне от утечек газа из изделия, который меньше по значению, чем перепад давлений, создаваемый поверхностным натяжением жидкости, может быть измерен при подведении периодических возмущений по давлению в устройстве контроля изделий на герметичность.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2012/10/21.html

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

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2012. № 10 (65). С. 69-76. ISSN 1993-5552.

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

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2012/10/

© 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

факторов. Социальные системы, в которых наблюдается однозначная смена состояний, являются однозначно детерминированными.

Социальный детерминизм дает возможность обосновать положение о том, что социальная субстанция и исторический процесс ее развертывания складываются из сознательной деятельности людей и их действий. В отличие от законов собственной деятельности, люди не могут по желанию отклоняться или не отклоняться от законов социального детерминизма. В каждом случае надо или ориентироваться на прямую причинно-следственную связь, или проанализировать, как причина проявляется через совокупное действие случайностей.

Одно из главных мест в системе требований общества к личности будущего специалиста и гражданина находит отражение в идее социальной ответственности как целеобразующей детерминанте воспитательного процесса. Проблема формирования этой ценности в обществе, подверженном энтропийным процессам, составляет важнейшее условие его выживания и развития. Единство и целостность личности предполагают формирование социальной ответственности как важнейшей ступени обретения ею профессиональной культуры и гражданского становления.

В мировой практике сложились две модели модернизации производства и труда: технократическая, обращенная к идее «экономического человека», и антропоцентрическая, обращенная к гуманизации всех сторон производственной жизни. От соотношения этих моделей зависят пути дальнейшего развития производства и современного труда.

Список литературы

1. Бахтин М. М. К философии поступка // Философия и социология науки и техники: ежегодник. 1984–1985. М., 1986. С. 80–160.
2. Бердяев Н. А. Философия свободы. Смысл творчества. М., 1989. 610 с.
3. Коллингвуд Р. Дж. Идея истории: автобиография. М., 1980. 485 с.
4. Махлин В. Л. Что такое диалогизм? // Диалог. Карнавал. Хронотоп. 1993. № 1 (2). С. 109–119.

УДК 681.5:620.165.29.008.6(075.8)

Технические науки

Проведен теоретический анализ по фазовым траекториям контроля герметичности изделий устройством, в которое подводятся периодические возмущения по давлению пробного газа. Установлено, что подведение переменной составляющей – периодических возмущений по давлению – в устройство контроля герметичности изделий придает нелинейному звену – горизонтальной трубке с жидкостным поршнем – свойства пропорционального линейного звена. Перепад давлений на жидкостном поршне от утечек газа из изделия, который меньше по значению, чем перепад давлений, создаваемый поверхностным натяжением жидкости, может быть измерен при подведении периодических возмущений по давлению в устройстве контроля изделий на герметичность.

Ключевые слова и фразы: герметичность; контроль; изделие; дифференциальное уравнение; жидкостный поршень; движение; периодические изменения давления; горизонтальная трубка; фазовые траектории; поверхностное натяжение жидкости; утечки газа.

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

Кафедра систем автоматизации производства

Оренбургский государственный университет

nik-gegera@rambler.ru

АНАЛИЗ ПО ФАЗОВЫМ ТРАЕКТОРИЯМ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ УСТРОЙСТВОМ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБКОЙ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ДАВЛЕНИЯ ПРОБНОГО ГАЗА[©]

Сущность метода автоматизированного контроля герметичности изделий устройством с горизонтальной трубкой при периодических возмущениях давления пробной среды состоит в том, что контроль герметичности изделий с использованием горизонтальной трубки проводится по измеряемой разности соответствующих одноименных (максимальных или минимальных) амплитуд перемещений жидкостного поршня в горизонтальной трубке.

Результаты контроля герметичности изделий по разности амплитуд перемещений жидкостного поршня при периодических возмущениях по давлению в устройстве контроля полностью зависят от снижения давления в изделии от утечек газа, и фактически исключается влияние поверхностного натяжения жидкости на движение жидкостного поршня в горизонтальной трубке.

Контроль герметичности изделий газом с использованием горизонтальной трубки при периодических возмущениях по давлению в устройстве контроля проводится устройством, схема которого 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, дроссели 12 и 14, вторичный показывающий прибор 13 и сильфон 15. Сильфон 15 с устройством измерения динамической составляющей расхода газа [8, с. 47] предназначен для создания периодических возмущений давления контрольного газа в эталонной емкости, изделии и периодического перемещения вперед-назад жидкостного поршня 9 в горизонтальной трубке 8 [9; 10]. Перед подключением изделия 4 к устройству контроля выбирают объем эталонной емкости [1, с. 64] и закрывают все вентили.

После подключения изделия к устройству контроля герметичности изделий заполняют его газом до заданного давления, для чего открывают вентили 2, 6 и 5. В некоторых устройствах контроля герметичности изделий газом с использованием горизонтальной трубки изделию 4 сообщают вибрацию [7, с. 56]. 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 изделия 4 и принудительное перемещение жидкостного поршня 9 в горизонтальной трубке 8 вперед-назад.

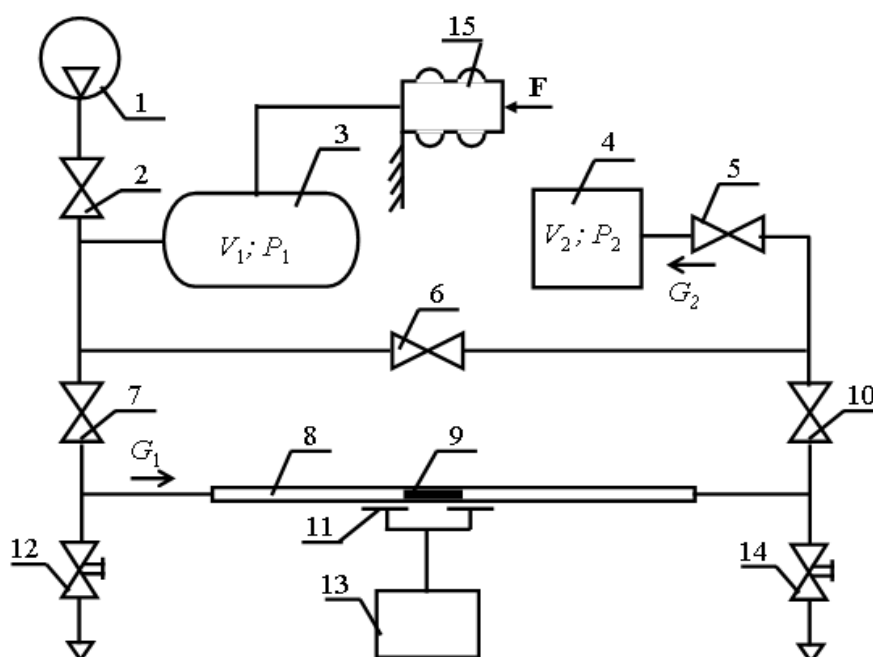


Рис. 1. Схема устройства контроля герметичности изделий газом с использованием горизонтальной трубки при периодических возмущениях по давлению в устройстве контроля

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 и периодических возмущениях по давлению в устройстве контроля. В некоторых устройствах контроля герметичности изделий газом горизонтальной трубке сообщается вибрация [3, с. 39; 4, с. 49]. Испытывают изделие 4 в течение установленного времени и берут второй отсчет по прибору 13 при крайнем правом положении жидкостного поршня в горизонтальной трубке и периодических возмущениях по давлению в устройстве контроля.

По разности показаний показывающего прибора 13 делают заключение о герметичности изделия 4. Закончив контроль герметичности изделия, вентили 7, 10 и 5 закрывают, прекращают периодические возмущения по давлению в устройстве контроля 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, с. 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

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

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

$$\begin{cases} + N_{\sigma}, \text{ при } \dot{x}(t) > 0; \\ - N_{\sigma}, \text{ при } \dot{x}(t) < 0; \\ - N_{\sigma} \leq N_{н/л}(t) \leq N_{\sigma}, \text{ при } \dot{x}(t) = 0 \end{cases} \quad - \text{нелинейная сила от движения жидкостного поршня в горизон-}$$

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

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

Значения перепада давлений на жидкостном поршне, большие, чем значение перепада давлений, создаваемого поверхностным натяжением жидкости в горизонтальной трубке, приводят к пропорциональному перемещению жидкостного поршня в горизонтальной трубке и не вызывают затруднений при контроле герметичности изделий.

Предлагаемое в работе [Там же] положение о целесообразности периодических возмущений пробной среды в изделии при контроле герметичности подходит для того случая, когда разность давлений на жидкостном поршне от утечек пробной среды из изделия меньше по значению, чем разность давлений, создаваемая поверхностным натяжением жидкости жидкостного поршня в трубке.

При контроле герметичности изделий устройством с использованием горизонтальной трубки с жидкостным поршнем и при сообщении жидкостному поршню возмущения по перемещению за счет возмущения давления пробной среды в изделии дифференциальное уравнение (1) может быть представлено в следующем виде

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \kappa_{z.mp} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{E_c F_{mp}^2}{V_{из}} x(t) + \begin{cases} + N_{\sigma}, \text{ при } \dot{x}(t) > 0 \\ - N_{\sigma}, \text{ при } \dot{x}(t) < 0 \end{cases} = \Delta P_{возм}(t) \cdot F_{mp} + \Delta P_{ym}(t) F_{mp} \quad (2)$$

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

где $\Delta P_{возм}(t) F_{mp}$ - сила, приложенная к жидкостному поршню горизонтальной трубки за счет подводимого в устройство контроля возмущения давления пробной среды, Н; $\Delta P_{ym}(t) F_{mp} = N_{ym}(t)$ - сила, приложенная к жидкостному поршню горизонтальной трубки за счет утечек пробной среды из изделия при контроле герметичности, Н.

Сила $N_{ym}(t)$ от перепада давлений на жидкостном поршне от утечек газа из изделия, который меньше по значению, чем перепад давлений, создаваемый силой поверхностного натяжения жидкости, может изменяться в пределах $0 \leq N_{ym}(t) \leq N_\sigma$. Сила $N_{ym}(t)$ соответствует какому-то перемещению жидкостного поршня. Обозначим это перемещение через b_0 , мм, а силу $N_{ym}(t) = \omega_0^2 b_0$. Величина b_0 может изменяться в пределах $0 \leq b_0 \leq b$.

Принимаем в (2) 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, с^{-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).

Уравнение (2) принимает в этом случае следующий вид потому, что при $\dot{x}(t) > 0$ и $\dot{x}(t) < 0$ сила $\Delta P_{возм}(t) \cdot F_{mp} = 0$ из-за перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке.

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 2\beta \frac{dx(t)}{dt} + \omega_0^2 x(t) = \omega_0^2 b_0 + \begin{cases} -\omega_0^2 b & \text{при } \dot{x}(t) > 0 \\ \omega_0^2 b & \text{при } \dot{x}(t) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

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

После введения новых переменных соответственно для первого и второго выражений $x_{n1}(t) = x(t) + b - b_0$ и $x_{n2}(t) = x(t) - b - b_0$, решения уравнения (3) для первых четырех полупериодов свободных движений после возмущения силой и определения производных от $x_1(t) - x_4(t)$ по времени, принимая обозначения $y_1(t) = dx_1(t)/dt$, $y_4(t) = dx_4(t)/dt$, принимают вид:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= b + b_0 + x_0 e^{-\beta t} \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t] \\ y_1(t) &= -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t, \text{ при } 0 \leq \omega t \leq \pi \\ x_2(t) &= -b + b_0 + (x_0 e^{-\beta t} - 2b) \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t] \\ y_2(t) &= -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t + 2b(\omega \sin \omega t - \beta \cos \omega t) \\ \text{при } \pi \leq \omega t \leq 2\pi \text{ и } (x_0 e^{-\beta t} > 2b) \\ x_3(t) &= b + b_0 + (x_0 e^{-\beta t} - 4b) \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t] \\ y_3(t) &= -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t + 4b(\omega \sin \omega t - \beta \cos \omega t) \\ \text{при } 2\pi \leq \omega t \leq 3\pi \text{ и } (x_0 e^{-\beta t} > 4b) \\ x_4(t) &= -b + b_0 + (x_0 e^{-\beta t} - 6b) \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t] \\ y_4(t) &= -x_0 e^{-\beta t} \cdot (\omega + \beta^2 / \omega) \sin \omega t + 6b(\omega \sin \omega t - \beta \cos \omega t) \\ \text{при } 3\pi \leq \omega t \leq 4\pi \text{ и } (x_0 e^{-\beta t} > 6b), \end{aligned} \quad (4)$$

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

На Рисунке 2 приведены построенные по выражениям (4) фазовые траектории движения жидкостного поршня при сообщении ему периодических перемещений вперед-назад в горизонтальной трубке устройства контроля герметичности изделий в зависимости от перепада давлений на жидкостном поршне от утечек газа из изделия, который меньше по значению, чем перепад давлений, создаваемый силой поверхностного натяжения жидкости.

Кривая 1 на Рисунке 2 построена при $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100$ мм, $b = 6$ мм, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b_0 = 0$ мм при использовании воды в качестве жидкостного поршня в горизонтальной трубке; кривая 2 – при $x_0 = 100$ мм, $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$; $b = 6$ мм, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b_0 = 1,00 b$ (водяной жидкостный поршень в горизонтальной трубке). Кривые 3 и 4 построены при использовании ртутного жидкостного поршня в горизонтальной трубке: кривая 3 – при $x_0 = 100$ мм, $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$; $b = 40,3$ мм, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b_0 = 0$ мм; кривая 4 – при $x_0 = 100$ мм, $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$; $b = 40$ мм, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b_0 = 30$ мм.

Поверхностное натяжение ртути $\sigma = 487 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, а поверхностное натяжение воды $\sigma = 72,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$, то есть поверхностное натяжение ртути в 6,72 раза больше поверхностного натяжения воды. В этом случае для жидкостного поршня из воды в горизонтальной трубке значение $b = 6$ мм, определенное по выражению $b = N_\sigma / m \omega_0^2$, а для жидкостного поршня из ртути $b = 40,3$ мм.

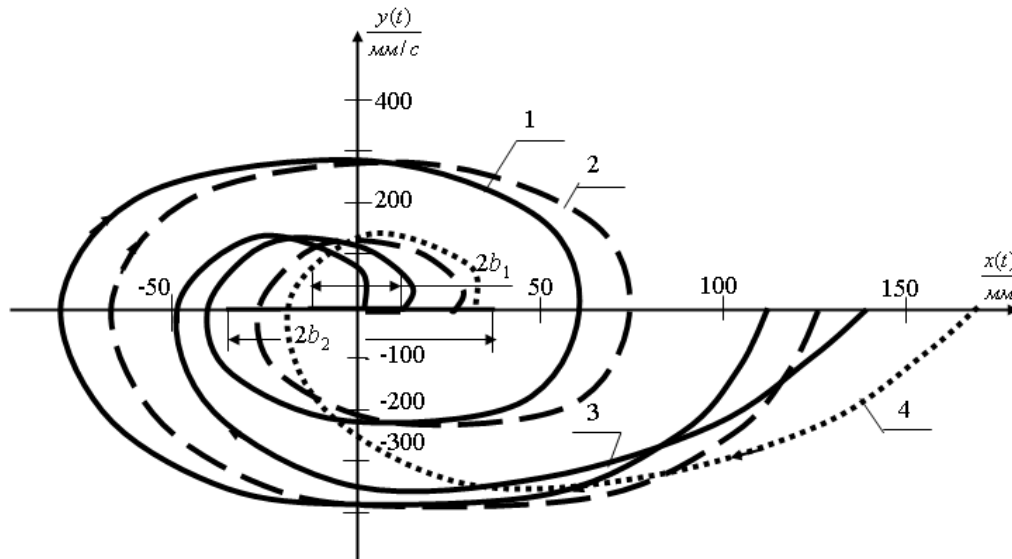


Рис. 2. Влияние перепада давлений на жидкостном поршне от утечек газа из изделия, который меньше по значению, чем перепад давлений, создаваемый силой поверхностного натяжения жидкости, на фазовые траектории движения жидкостного поршня при сообщении ему периодических перемещений вперед-назад в горизонтальной трубке устройства контроля герметичности изделий: кривая 1 построена при $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$, $x_0 = 100 \text{ мм}$, $b = 6 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b_0 = 0 \text{ мм}$ и использовании жидкостного поршня в горизонтальной трубке из воды; кривая 2 - при $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$; $b = 6 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b_0 = 1,00 b$ (жидкостный поршень из воды); кривая 3 - для ртутного жидкостного поршня при $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$; $b = 40,3 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b_0 = 0 \text{ мм}$; кривая 4 - для ртутного жидкостного поршня при $x_0 = 100 \text{ мм}$, $\beta = 0,15 \text{ с}^{-1}$; $b = 40 \text{ мм}$, $\omega = 4,14 \text{ с}^{-1}$ и $b_0 = 30 \text{ мм}$

Из выражений (4) и данных Рисунка 2 следует, что изменение перепада давлений на жидкостном поршне горизонтальной трубки от утечек пробного газа из изделия в пределах перепада давления, создаваемого поверхностным натяжением жидкости, не изменяет формы фазовой траектории после окончания контроля герметичности изделия, но сдвигает фазовые траектории вправо на фазовой плоскости (кривые 2 и 4 сдвигаются вправо соответственно для жидкостного поршня из воды и ртути относительно кривых 1 и 3).

Если в формуле (3) принять b_0 равным нулю, то есть не учитывать действие утечек газа из изделия на перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке, тогда получим

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

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

Решение этого уравнения для первых четырех полупериодов перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке производится аналогично решению уравнения (3) и имеет вид:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= b + x_0 e^{-\beta t} \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t] \text{ при } 0 \leq \omega t \leq \pi \\ x_2(t) &= -b + (x_0 e^{-\beta t} - 2b) \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t] \\ &\text{при } \pi \leq \omega t \leq 2\pi \text{ и } (x_0 e^{-\beta t} > 2b) \\ x_3(t) &= b + (x_0 e^{-\beta t} - 4b) \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t] \\ &\text{при } 2\pi \leq \omega t \leq 3\pi \text{ и } (x_0 e^{-\beta t} > 4b) \\ x_4(t) &= -b + (x_0 e^{-\beta t} - 6b) \cdot [\cos \omega t + (\beta / \omega) \sin \omega t] \\ &\text{при } 3\pi \leq \omega t \leq 4\pi \text{ и } (x_0 e^{-\beta t} > 6b), \end{aligned} \quad (5)$$

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

Выполнив вычитание из уравнений (4) соответствующих выражений (5), получим:

$$\begin{aligned} \Delta x_1(t) = \Delta x_2(t) = \Delta x_3(t) = \Delta x_4(t) = \Delta x_{ym}(t) &= b_0 = \Delta N_{ym}(t) / m \omega_0^2 = \\ = \Delta P_{ym}(t) F_{mp} / m \omega_0^2 &= N_{ym}(t) V_{uz} / E_c F_{mp}^2 = \Delta P_{ym}(t) V_{uz} / E_c F_{mp} \end{aligned} \quad (6)$$

или $\Delta x_{ym}(t)/\Delta N_{ym}(t) = V_{из}/E_z F_{mp}^2 = \kappa_d = tg\varphi$,

где $\Delta x_1(t)$; $\Delta x_2(t)$; $\Delta x_3(t)$; $\Delta x_4(t)$ – разности перемещений жидкостного поршня в горизонтальной трубке, полученные по выражениям 1-4 уравнений (4) и (5), м; $\Delta x_{ym}(t)$ – перемещение жидкостного поршня в трубке от утечек газа из изделия, которые создают перепад давления на жидкостном поршне, меньший по значению, чем перепад давлений, создаваемый поверхностным натяжением жидкости поршня в трубке, м; $\Delta N_{ym}(t)$; $\Delta P_{ym}(t)$ – соответственно сила, Н, и разность давлений, Па, создаваемые на жидкостном поршне горизонтальной трубки утечками газа из изделия.

На Рисунке 3 приведена характеристика перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке в зависимости от приложенного к жидкостному поршню перепада давления от утечек газа из изделия, испытываемого на герметичность, в пределах зоны нечувствительности от действия сил поверхностного натяжения жидкости поршня в трубке, при подаче периодических возмущений по давлению (перемещению жидкостного поршня) в устройство контроля. Прямая 1 на Рисунке 3 построена по выражению (6).

Если объем изделия $V_1 = 0,012 \text{ м}^3$ ($0,1 \text{ м} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 0,3 \text{ м}$), диаметр горизонтальной трубки $d_{mp} = 4 \text{ мм}$ и $E_z = 0,127 \cdot 10^6 \text{ Па}$, тогда, например, при $\Delta P_{2ym}(t) = 60,0 \text{ Па}$ по формуле (6) получим $\Delta x_{ym}(t) = 60,0 \cdot 0,012 / 0,127 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,451 \text{ м} = 451 \text{ мм}$.

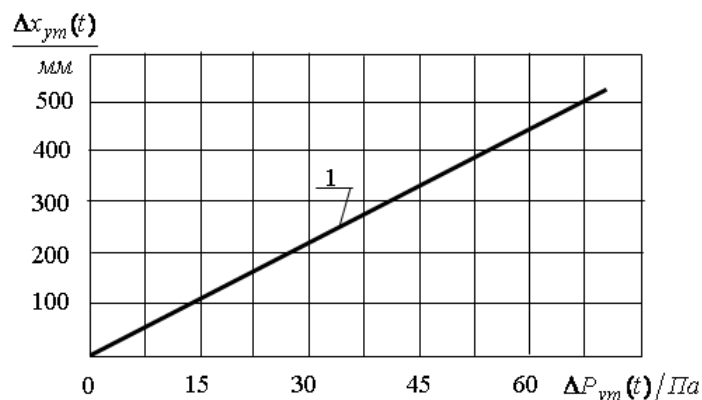


Рис. 3. Перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке в зависимости от приложенного к жидкостному поршню перепада давления от утечек газа из изделия, контролируемого на герметичность при периодических возмущениях давления в устройстве контроля, в пределах зоны нечувствительности от действия сил поверхностного натяжения жидкости поршня в трубке

На Рисунке 4 приведены фазовые траектории перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке устройства контроля изделий на герметичность при периодических возмущениях и постепенном снижении давления в изделии от утечек пробного газа в пределах зоны нелинейности движения жидкостного поршня в трубке: 1 – фазовая траектория перемещения жидкостного поршня в трубке при возмущении давления пробной среды в начале контроля герметичности, когда перепад давлений на жидкостном поршне от утечек газа из изделия равен нулю, и этот перепад давлений вызывает перемещение жидкостного поршня в трубке на расстояние $b_0 = 0$; 2 – фазовая траектория перемещения жидкостного поршня в трубке в конце контроля герметичности при перепаде давлений на жидкостном поршне от утечек газа из изделия, который вызывает перемещение жидкостного поршня в трубке на расстояние $0 \leq b_0 \leq b$ или большее b при возмущении по давлению пробного газа в изделии. Значение b_0 характеризует перемещение жидкостного поршня в горизонтальной трубке от перепада давлений на жидкостном поршне трубки из-за утечек газа из изделия, который меньше перепада давлений, создаваемого поверхностным натяжением жидкостного поршня в трубке.

Зона нечувствительности в перемещении жидкостного поршня в трубке, зависящая от сил поверхностного натяжения жидкости и диаметра горизонтальной трубки, обозначена как $b + |(-b)| = 2b$. Если, например, за время контроля разность давлений на жидкостном поршне понизилась на столько, что соответствует изменению перемещения жидкостного поршня на значение, меньшее, чем $\pm b$, то это перемещение не может быть измерено горизонтальной трубкой обычным способом потому, что эта разность давлений меньше по значению разности давлений, приложенной к жидкостному поршню в трубке со стороны жидкости за счет воздействия поверхностного натяжения.

Однако, это значение и другие меньшие или большие значения перемещения жидкостного поршня в горизонтальной трубке a , м, могут быть определены по разности амплитуд как значение $a = A_2 - A_1$ или $a = A_3 + A_4$ за установленное время контроля, при котором учитывается перепад давлений на жидкостном поршне как меньший по значению, когда $a = b_0 \leq b = A_3 + A_4$ или $a = b_0 \leq b = A_2 - A_1$, так и больший по значению, когда $a > b = A_2 - A_1$ или $a > b = A_3 + A_4$, чем зона нечувствительности перемещения жидкостного поршня в трубке, связанная с силами поверхностного натяжения жидкости (Рисунок 4). Это существенно расширяет возможности устройства для контроля изделий на герметичность с использованием горизонтальной трубки и подводимых в устройство периодических возмущений давления.

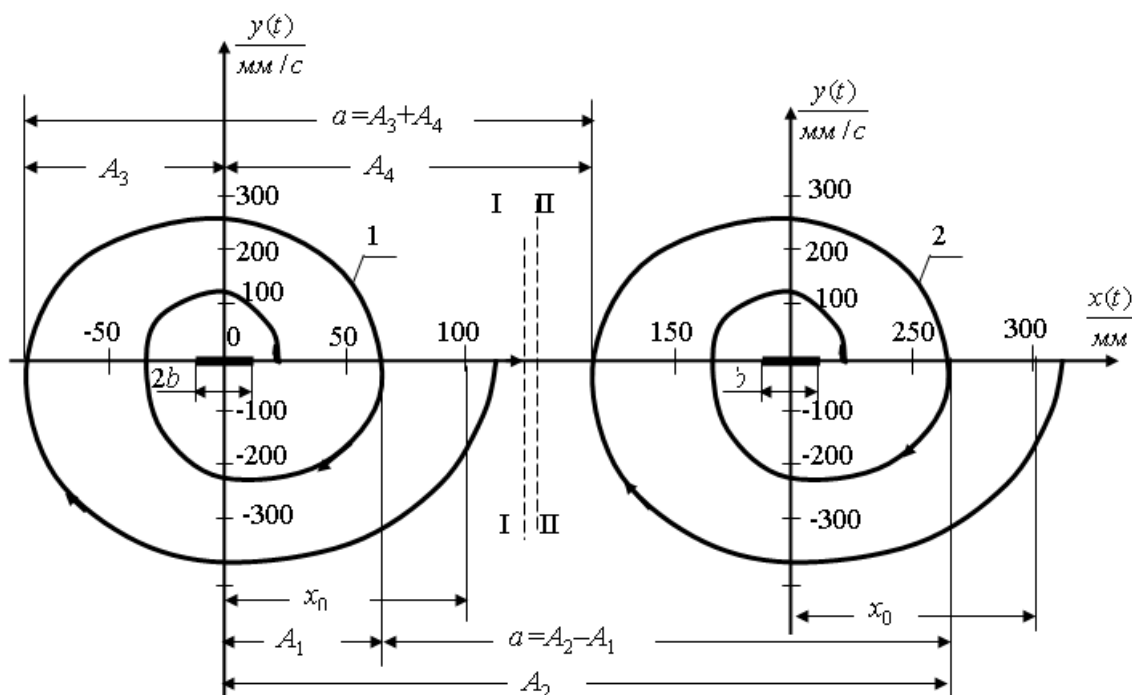


Рис. 4. Фазовые траектории перемещения жидкостного поршня в зоне нечувствительности от воздействия сил поверхностного натяжения жидкости в горизонтальной трубке устройства контроля изделий на герметичность при периодических возмущениях и постепенном снижении давления в изделии от утечек газа: 1, 2 – фазовые траектории перемещения жидкостного поршня в трубке при возмущении в начале и в конце контроля герметичности; I-I и II-II – линии, указывающие на промежуток времени между возмущениями

Экспериментальный объем утечек газа из изделия $V_{ут}, м^3$, при использовании устройств с горизонтальной трубкой и при периодических возмущениях давления пробной среды, по которому делают заключение о герметичности изделия, вычисляют по выражению

$$V_{ут} = a \cdot F_{тр},$$

где $F_{тр}$ – площадь сечения горизонтальной трубки, $м^2$.

Таким образом, проведен теоретический анализ по фазовым траекториям контроля герметичности изделий устройством, в которое подводятся периодические возмущения по давлению пробного газа. Установлено, что подведение переменной составляющей – периодических возмущений по давлению – в устройство контроля герметичности изделий придает нелинейному звену – горизонтальной трубке с жидкостным поршнем – свойства пропорционального линейного звена. Перепад давлений на жидкостном поршне от утечек газа из изделия, который меньше по значению, чем перепад давлений, создаваемый поверхностным натяжением жидкости, может быть измерен при подведении периодических возмущений по давлению в устройстве контроля изделий на герметичность.

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. Пат. 2234069 Российская Федерация, МПК G01 М 3/26. Устройство контроля герметичности изделий / Н. И. Жежера, А. И. Сердюк, Е. С. Куленко, А. В. Ведехин (РФ); заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. № 2002129271/28; заявл. 01.12.02; опубл. 10.08.04. Бюлл. № 22. 10 с.
10. Пат. 2296311 Российская Федерация, МПК G01 М 3/26. Устройство контроля герметичности изделий / Н. И. Жежера, Д. Р. Абубакиров (РФ); заявитель и патентообладатель Оренбург. гос. ун-т. № 2005134093/28; заявл. 03.11.2005; опубл. 27.03.2007. Бюлл. № 9. 8 с.

УДК 681.5:620.165.29.008.6

Технические науки

Установлены аналитические выражения для определения относительной погрешности измерения утечек газа из изделия при испытаниях его на герметичность газом с использованием горизонтальной трубки, выбора объема эталонной емкости по объему изделия и требуемой относительной погрешности измерения утечек газа из изделия.

Ключевые слова и фразы: герметичность; испытания; изделие; жидкостный поршень; горизонтальная трубка; относительная погрешность; объем эталонной емкости.

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

Кафедра систем автоматизации производства

Оренбургский государственный университет

nik-gegera@rambler.ru

ВЫБОР ОБЪЕМА ЭТАЛОННОЙ ЕМКОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ИЗДЕЛИЙ НА ГЕРМЕТИЧНОСТЬ ГАЗОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБКИ[©]

В работах [7; 11] рассматривается метод испытаний изделий на герметичность газом с использованием горизонтальной трубки. Схема устройства для испытаний изделий на герметичность газом с использованием горизонтальной трубки приведена на Рисунке 1. Устройство содержит источник контрольного газа 1, эталонную емкость 3, испытываемое на герметичность изделие 4, горизонтальную трубку 8 с жидкостным поршнем 9, вентили 2, 5, 6, 7 и 10, емкостный измерительный преобразователь 11, дроссели 12 и 14, вторичный показывающий прибор 13. Перед подключением изделия 4 к устройству испытаний выбирают необходимый объем эталонной емкости, заданную чувствительность контроля герметичности изделий с горизонтальной трубкой [6, с. 55], а все вентили и дроссели переводятся в закрытое положение.

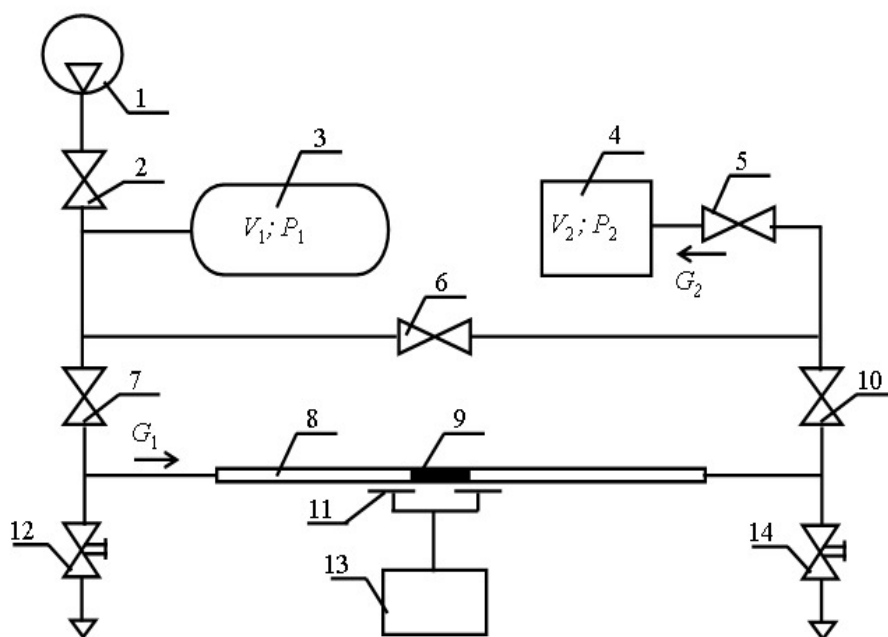


Рис. 1. Схема устройства испытаний изделий на герметичность газом с использованием горизонтальной трубки