

В. Л. ТКАЛИЧ, Р. Я. ЛАБКОВСКАЯ, О. И. ПИРОЖНИКОВА

АНАЛИЗ ПРИСОЕДИНЕННЫХ МАСС УПРУГИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РТУТНЫХ ГЕРКОНОВ

Представлен анализ конструктивных особенностей ртутных герконов и определены факторы, влияющие на значения присоединенных масс упругих чувствительных элементов. Предложена модель определения присоединенной массы таких элементов и получено аналитическое выражение для их амплитудно-частотных характеристик.

Ключевые слова: герконы, присоединенная масса, упругие чувствительные элементы.

Разработка жидкостных герконов требует глубокого исследования зависимости их частотных характеристик от свойств демпфирующей жидкости. В настоящей статье представлен анализ рассмотренных в работе [1] математических моделей динамики упругого чувствительного элемента (УЧЭ, далее — ЧЭ) ртутного геркона и приводится полученное аналитическое выражение для амплитудно-частотных характеристик (АЧЧ) данного типа элементов.

Примеры ртутных герконов приведены на рис. 1.

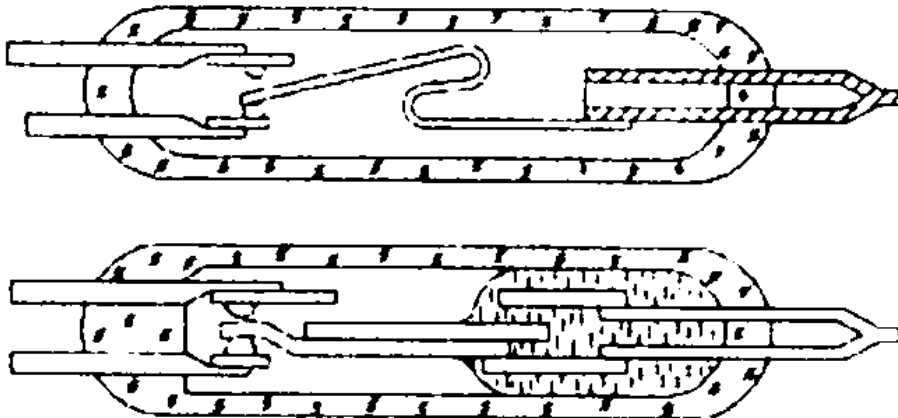


Рис. 1

В работе [2] в качестве модели динамики ЧЭ используется нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\ddot{y} + 2n\dot{y} + \mu\dot{y}|\dot{y}| + \omega_0^2 y = a_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

где y — смещение ЧЭ геркона от положения равновесия; \dot{y} , \ddot{y} — скорость и ускорение смещения ЧЭ геркона соответственно; ω_0 — собственная частота колебаний геркона; n — коэффициент линейного трения; a_0 — измеряемое ускорение; μ — коэффициент нелинейного трения.

Для получения математической (уточненной) модели динамики ЧЭ ртутного геркона и выражения для его АЧЧ следует учитывать присоединенную массу ртути, поэтому вместо единичной массы m_0 ЧЭ будем использовать суммарную массу m_{Σ} чувствительных элементов, состоящих из нескольких звеньев.

Установлено [3], что факторами, влияющими на значения присоединенных масс ЧЭ, являются:

- плотность ртути;
- геометрические размеры ЧЭ и герметизирующего баллона;

- конструктивные особенности баллона;
- способ крепления ЧЭ в баллоне;
- близости стенок баллона к ЧЭ.

Запишем выражение для присоединенной массы Δm : с условием обтекаемости элемента струей ртути

$$\Delta m = 0,4224\rho d^2 l \left(1 + \frac{dq}{2l}\right)^{-1} k_{\text{п}} K, \quad (2)$$

где ρ — плотность ртути; d и l — ширина и длина ЧЭ; q — размер ЧЭ (для обобщенного случая); $k_{\text{п}}$ — коэффициент, определяющий влияние наличия свободной поверхности ртути на величину Δm , K — коэффициент, характеризующий форму ЧЭ и герметизирующего баллона, а также их взаимное положение относительно друг друга [4].

На рис. 2—5 представлены графики подбора коэффициента K в зависимости от геометрии геркона:

- баллон и ЧЭ имеют прямоугольное сечение (рис. 2);
- баллон имеет круглое сечение, ЧЭ — прямоугольное (рис. 3);
- баллон и ЧЭ имеют сечение (рис. 4);
- баллон и ЧЭ имеют круглое сечение при ЧЭ, смещенном относительно оси баллона (рис. 5).

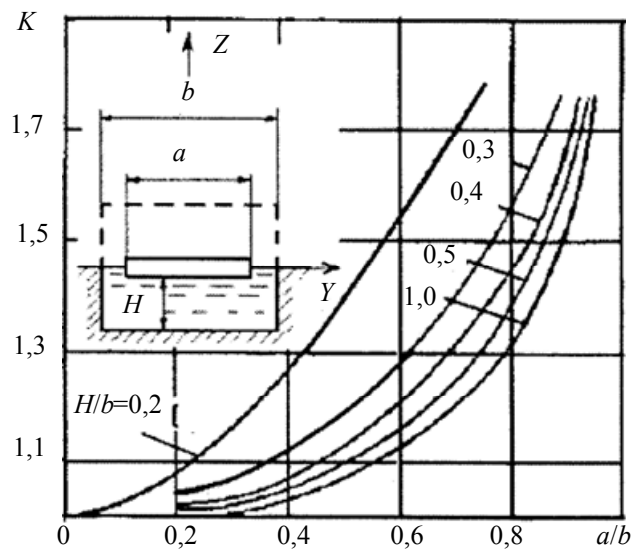


Рис. 2

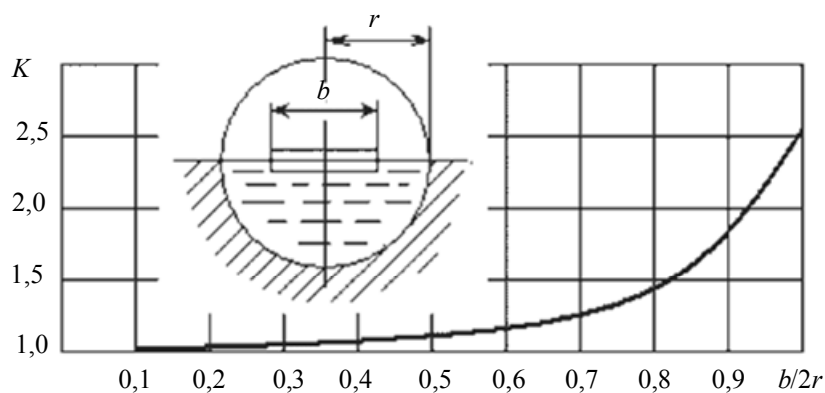


Рис. 3

Разработанная математическая модель (2) для определения присоединенных масс ртути упругих чувствительных элементов герконов позволит осуществлять надежное прогнозирование их частотных характеристик.

Используя полученную модель определения присоединенной массы Δm , с учетом того, что возмущающая сила, приводящая к колебанию ЧЭ, изменяется по закону $F(t) = F_0 \cos \omega t$, подставим выражение (2) в уравнение, описывающее динамику плоских ЧЭ газонаполненных и жидкостных герконов [3]. В результате получим математическую модель динамики ЧЭ геркона:

$$\ddot{y} + 2 \frac{n}{m_{\Sigma}} \dot{y} + \frac{\mu}{m_{\Sigma}} \dot{y} |\dot{y}| + p_k^2 y = (F_0/m_{\Sigma}) \cos \omega t, \quad (3)$$

где $m_{\Sigma} = m_0 l + \Delta m$, ω — частота внешнего воздействия.

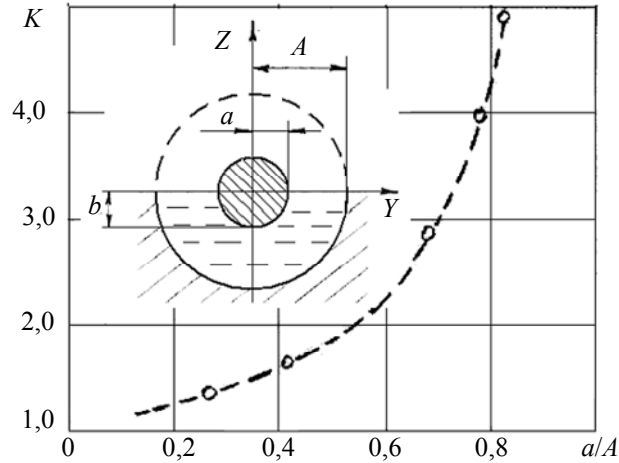


Рис. 4

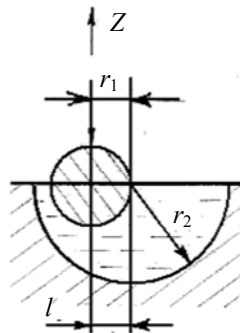
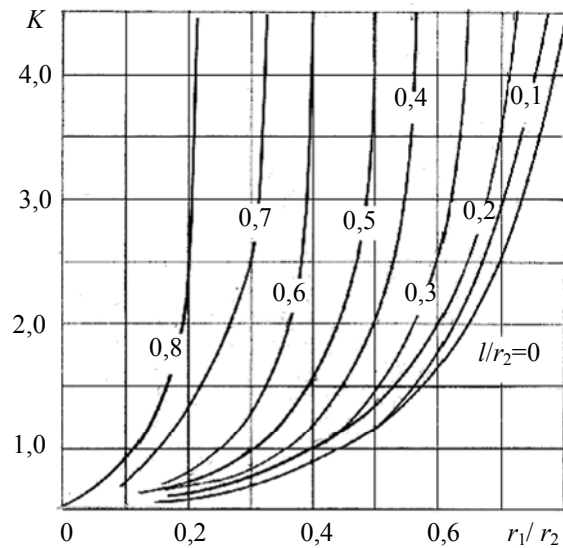


Рис. 5

С использованием метода комплексных амплитуд [5] получено аналитическое выражение для АЧХ упругих чувствительных элементов геркона:

$$A(\omega) = \frac{F_0}{m_{\Sigma} \sqrt{\left(p_k^2 - \omega^2 \right)^2 + \left(2 \frac{n}{m_{\Sigma}} \omega + \frac{\mu}{m_{\Sigma}} A(\omega) \omega^2 \right)^2}}. \quad (4)$$

В уравнениях (3) и (4) $p_k = \lambda_k^2 \sqrt{\frac{EJ}{m_{\Sigma} l^3}}$ — собственная частота колебаний ЧЭ, здесь

$$\lambda_k = \frac{2k-1}{2} \pi, \quad k = 1, 2, 3, \dots; \quad E — модуль упругости; J — момент инерции.$$

Таким образом, выведена модель определения присоединенных масс ЧЭ с учетом следующих факторов: плотности среды (ртути), наличия свободной поверхности среды, положения ЧЭ в пространстве и конкретной геометрии ЧЭ.

Полученное выражение (4) позволяет выявить влияние присоединенных масс упругих чувствительных элементов на их АЧХ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабковская Р. Я., Нечаев В. А., Нечаева Н. В., Пирожникова О. И. Математические модели чувствительных элементов линейного акселерометра в динамическом режиме // Сб. тез. докл. VIII Всерос. межвуз. конф. молодых ученых. Вып. 1. СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. С. 138—139.
2. Курзнер А. Б., Ибрагимов И. Х. Экспериментальное определение параметра модели акселерометра с нелинейным жидкостным демпфированием // Метрология. 1975. № 1. С. 37—42.
3. Ткалич В. Л. Надежность магнитоуправляемых контактов в системах управления. Монография. СПб: СПбГИТМО, 2000. С. 100.
4. Ткалич В. Л. Упругие чувствительные элементы систем управления (Принципы построения, анализ и математическое моделирование): Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб: СПбГИТМО, 2001. С. 34.
5. Кокиаров Д. Н., Ткалич В. Л., Буданова А. Ю., Коробейникова М. А. Нелинейные дифференциальные уравнения движения упругих чувствительных элементов // Тр. конф. „Интеллектуальные системы“, „Интеллектуальные САПР“. М.: Физматлит, 2006. Т. 2. С. 145—153.

Сведения об авторах

- Вера Леонидовна Ткалич** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем; E-mail: Vera_Leonidovna_Tkalich@mail.ru
- Римма Яновна Лабковская** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем; E-mail: studsovet_itmo@mail.ru
- Ольга Игоревна Пирожникова** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем; E-mail: studsovet_itmo@mail.ru

Рекомендована кафедрой
проектирования и безопасности
компьютерных систем

Поступила в редакцию
15.11.11 г.