

Такой способ и устройство линеаризации могут применяться и в других преобразователях информации, составной частью которых являются первичные датчики с нелинейной характеристикой преобразования.

Литература

1. **Новый комплекс унифицированных датчиков «Сапфир-22М»** / Г.Г.Иордан, А.Я.Юровский, А.Г.Смирновский, В.И.Сердюков // Приборы и системы управления. 1990. № 11. С. 27–30.
2. **Лурье Г.И., Мартыненко В.Т.** Новое поколение полупроводниковых датчиковых датчиков теплоэнергетических параметров // Приборы и системы управления. 1996. № 4. С. 26–28.
3. **Преобразователь измерительный «Сапфир-22».** Техническое описание и инструкция по эксплуатации: 08919030 ТО. М.: ВНИИПМ, 1987. 94 с.
4. **Преобразователь измерительный «Сапфир-22М».** Техническое описание и инструкция по эксплуатации: 08906128 ТО. М.: ВНИИПМ, 1987. 95 с.
5. **Смолов В.Б.** Диодные функциональные преобразователи. Л.: Энергия, 1967. 136 с.
6. **Смолов В.Б.** Функциональные преобразователи информации. Л.: Энергоатомиздат, 1981. 248 с.
7. **Тахванов Г.И.** Операционные блоки управляющих устройств. М.: Энергоатомиздат, 1989. 208 с.
8. **Продукция** Ивано-Франковского ПО «Промприбор». Измерительные преобразователи разности давлений ДМТ-3583М // Приборы и системы управления. 1991. № 10. С. 23–24.
9. **Преобразователь разности давления с унифицированным токовым выходом** (Продукция Молодеченского завода «Спутник»): Каталог «Белвузнаука-97». Мн., 1997. С. 120–121.

ПРОБЛЕМЫ ДИНАМИКИ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С ОПОРОЙ КАЧЕНИЯ

Джилавдари И.З.,

Белорусская государственная политехническая академия, г. Минск

Физический маятник является основным элементом маятникового абсолютного или относительного гравиметра. В основе его работы лежит известная формула, связывающая период T колебаний маятника с величиной ускорения свободного падения g : $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, где l — приведенная длина маятника.

Опорой маятника обычно является ребро призмы, чаще всего выполненной из агата, опирающееся на плоскую поверхность [1, 2] (рис. 1, 2). Длина призмы составляет 3–6 см. Толщина ребра принимается равной 0,01 см [2].

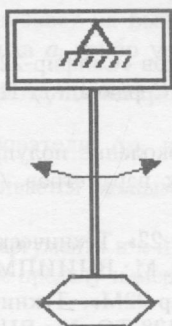


Рис. 1

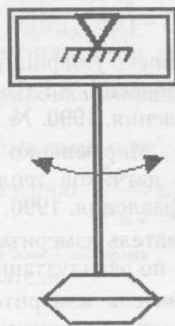


Рис. 2

В настоящее время используются относительные маятниковые гравиметры. Точность относительного гравиметра определяется стабильностью его приведенной длины l и погрешностью измерения периода T . Погрешность (нестабильность) современных гравиметров составляет 0,02–0,04 мГл ($1 \text{ мГл} = 10^{-3} \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}$) [1]. Следовательно, учитывая, что $g \approx 103 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}$, найдем, что относительная нестабильность параметров маятника должна быть не больше $(2-4) \cdot 10^{-8}$. Высокая стабильность параметров маятника — основное достоинство маятникового гравиметра по сравнению с их другими видами.

Одним из основных источников погрешности гравиметра считается изменение поверхности опорного ребра по мере работы. Данная погрешность превышает погрешность измерения периода колебаний.

Погрешность абсолютного маятникового гравиметра существенно выше погрешности относительного гравиметра. Она обусловлена погрешностью определения приведенной длины маятника, влиянием трения и ряда других факторов на период T , в том числе формы ребра призмы и деформацией обеих поверхностей опоры. Однако задача о влиянии формы ребра на период колебаний маятника слишком сложна для решения [1].

Частично эти проблемы можно решить путем выбора оптимальной формы опоры, допускающей разработку более точной математической модели колебаний маятника, отражающей влияние геометрии опоры маятника на период T .

В связи с этим в данном докладе рассмотрена динамика физического маятника с опорой, выполненной в виде двух шариков (рис. 3, 4, где виден только один из двух шариков в каждой опоре). Использование двух шариков вместо ребра призмы может позволить обеспечить более строгую фиксацию направления оси вращения маятника, исключить недостатки опоры в виде ребра и более точно рассчитать кинематику и динамику качения, в том числе учесть деформацию контактирующих поверхностей.

С целью достижения более общего результата решалась задача о колебаниях маятника с опорой в виде шарика или цилиндра радиусом R_1 , катающегося по вогнутой сферической или цилиндрической поверхности радиусом R_2 (рис. 5), и с опорой в виде вогнутой сферической или цилиндрической поверхности радиусом R_2 , катающейся по аналогичной выпуклой поверхности радиусом R_1 (рис. 6).

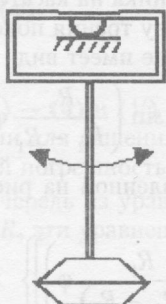


Рис. 3

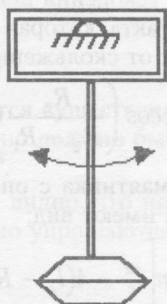


Рис. 4

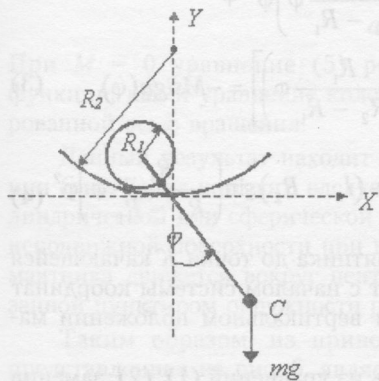


Рис. 5

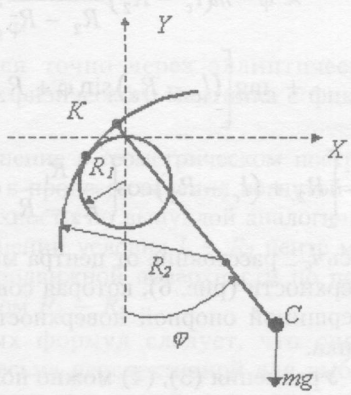


Рис. 6

При отсутствии скольжения в опоре и деформации элементов маятника уравнение колебаний маятника с опорой, представленной на рис. 5, имеет вид

$$\left\{ I_c + m \left[(l_c - R_1)^2 + 4R_1 l_c \sin^2 \left(\frac{R_2}{2(R_2 - R_1)} \varphi \right) \right] \right\} \ddot{\varphi} + m l_c \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} \times \\ \times \sin \left(\frac{R_2}{R_2 - R_1} \varphi \right) (\dot{\varphi}^2) + mg \left[l_c \sin \varphi + R_1 \sin \left(\frac{R_1}{R_2 - R_1} \varphi \right) \right] = -M \text{sign}(\dot{\varphi}), \quad (1)$$

где I_c — момент инерции маятника относительно оси, проходящей через центр масс параллельно оси вращения; l_c — расстояние от центра шара до центра масс маятника; M — проекция момента силы трения качения на ось вращения.

Проекция ускорения центра масс маятника на касательную к опоре в точке контакта, которая определяет силу трения покоя, удерживающую маятник от скольжения, в этом случае имеет вид

$$a_c = \left[l_c \cos \left(\frac{R_2}{R_2 - R_1} \varphi \right) - R_1 \right] \ddot{\varphi} - \left[l_c \sin \left(\frac{R_2}{R_2 - R_1} \varphi \right) \right] \dot{\varphi}^2. \quad (2)$$

В случае маятника с опорой, представленной на рис.6, аналогичные уравнения имеют вид:

$$\left\{ I_c + m \left[l_c^2 - 4(l_c - R_2)R_2 \sin^2 \left(\frac{R_1}{2(R_2 - R_1)} \varphi \right) \right] \right\} \times \\ \times \ddot{\varphi} - m(l_c - R_2) \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1} \sin \left(\frac{R_1}{R_2 - R_1} \varphi \right) \dot{\varphi}^2 + \\ + mg \left[(l_c - R_2) \sin \varphi + R_2 \sin \left(\frac{R_1}{R_2 - R_1} \varphi \right) \right] = -M \text{sign}(\dot{\varphi}), \quad (3)$$

$$a_c = \left[R_2 + (l_c - R_2) \cos \left(\frac{R_1}{R_2 - R_1} \varphi \right) \right] \ddot{\varphi} + (l_c - R_2) \sin \left(\frac{R_1}{R_2 - R_1} \varphi \right) \dot{\varphi}^2. \quad (4)$$

Здесь l_c — расстояние от центра масс маятника до точки K качающейся поверхности (рис. 6), которая совпадает с началом системы координат и вершиной опорной поверхности при вертикальном положении маятника.

Уравнения (3), (4) можно получить из уравнений (1), (2), заменив в последних l_c на $l_c + R_1$, что означает, что l_c будет представлять собой расстояние от центра масс до поверхности подвижного тела с радиусом

R_1 , и затем, заменив R_1 на R_2 и R_2 на R_1 . Последние замены связаны с изменением знака кривизны соответствующих поверхностей.

Случай опоры маятника в виде шара, опирающегося на плоскую поверхность, можно получить из данных уравнений, устремив R_2 к бесконечности. Тогда уравнения (1) – (4) принимают следующий вид:

$$\left\{ I_c + m \left[(l_c - R_1)^2 + 4R_1 l_c \sin^2 \frac{\varphi}{2} \right] \right\} \ddot{\varphi} + m l_c R_1 \sin \varphi (\dot{\varphi})^2 + m g l_c \sin \varphi = -M \text{sign}(\dot{\varphi}), \quad (1')$$

$$a_c = \ddot{X}_c = (l_c \cos \varphi - R_1) \ddot{\varphi} - l_c \sin \varphi (\dot{\varphi}^2), \quad (2')$$

$$\left[I_c + m (l_c^2 + R_1^2 \varphi^2) \right] \ddot{\varphi} + m R_1^2 \varphi \dot{\varphi}^2 + m g (l_c \sin \varphi + R_1 \varphi \cos \varphi) = -M \text{sign}(\dot{\varphi}), \quad (3')$$

$$a_c = l_c \ddot{\varphi} - R_1 \varphi \dot{\varphi}^2. \quad (4')$$

Уравнения (1) – (4) и (1') – (4') являются существенно нелинейными и трудными для решения, поскольку оно должно быть проведено с относительной погрешностью порядка 10^{-8} .

В свою очередь из уравнений (3), (4) видно, что при выполнении условия $l_c = R_2$ эти уравнения существенно упрощаются и принимают вид

$$\left[I_c + m R_2^2 \right] \ddot{\varphi} + m g R_2 \sin \left(\frac{R_2}{R_2 - R_1} \varphi \right) = -M \text{sign}(\dot{\varphi}), \quad (5)$$

$$a_c = R_2 \ddot{\varphi}. \quad (6)$$

При $M = 0$ уравнение (5) решается точно через эллиптические функции, как и уравнение колебаний физического маятника с фиксированной осью вращения.

Данный результат находит объяснение в геометрическом построении (рис. 7), из которого следует, что в процессе качения вогнутой цилиндрической или сферической поверхности по выпуклой аналогичной неподвижной поверхности при выполнении условия $l_c = R_2$ центр масс маятника движется вокруг центра неподвижной поверхности по показанной пунктиром окружности радиусом $R_2 - R_1$.

Таким образом, из приведенных формул следует, что опора, представленная на рис. 6, является весьма перспективной для выбора оптимальной конструкции маятникового гравиметра, динамика которого допускает точный теоретический анализ. Это дает возможность

создать абсолютный гравиметр, точность которого будет на уровне точности относительного гравиметра.

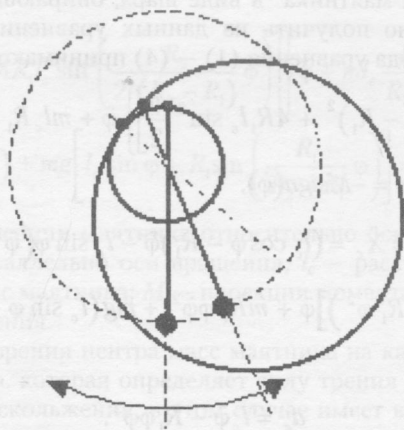


Рис. 7

Полученные формулы помогут также оценить погрешности существующих маятниковых гравиметров, обусловленные кривизной и деформацией их опор.

Литература

1. Юзефович А.П., Огородова Л.В. Гравиметрия. М.: Недра, 1980.
2. Геодезия. Справочное руководство / Под общ. ред. М.Д. Бонч-Бруевича. Т.1. Физическая геодезия / Под ред. И.А. Казанского. Л.; М.: Изд-во Минкомхоза РСФСР, 1949.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ

Пашкевич М.Ф.,

Могилевский Государственный технический университет

Механические передачи контролируют на различных этапах их производства. Наиболее полными являются приемочный контроль и сертификационные испытания, призванные оценить технический уровень передач и соответствие их эксплуатационным требованиям.

Процесс сертификационных испытаний является длительным и дорогостоящим, так как при этом используются не только стандартные, но и оригинальные методики, дорогостоящее оборудование и высококвалифицированный персонал. При этом результаты многократных измерений контролируемых параметров предусматривают математи-