

УДК 681.2

**МЕТОДИКА И УСТРОЙСТВО БАЛАНСИРОВКИ МАЯТНИКА С ОПОРОЙ НА ОДИН ШАРИК**

Джилавдари И.З., Ризноокая Н.Н., Касьмин В.Ю., Матвиевич В.Г.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Приборы, в которых используется метод свободных качаний физического маятника, опирающегося через тело качения (шарики, ролики, ребро призмы (или ножа)), на плоскую площадку (или подушку), давно используются для измерения твердости и прочности материалов и изделий [1–8]. Однако, маятник с двумя опорами имеет очевидный недостаток: его можно применять только при наличии двух одинаковых исследуемых образцов. Это существенно снижает номенклатуру испытываемых материалов. Кроме того, здесь существует проблема идентичности образцов и опор.

При использовании маятникового прибора с опорой на один шарик возникает проблема неустойчивости вертикальной плоскости качаний маятника. Это требует точной статической балансировки по двум главным горизонтальным осям инерции.

Второй проблемой маятника с одной опорой, является его вращение. При движении основания маятника (опоры шарика) с ускорением на шарик со стороны опоры действует единственная сила – сила трения. Если эта сила меньше максимальной силы трения покоя, маятник будет двигаться поступательно вместе с основанием без скольжения, если центр масс маятника совпадает с точкой касания шарика и опоры, то момент силы трения относительно центра масс маятника равен нулю. Поэтому маятник не будет вращаться. Для выполнения данного условия, требуется балансировка в вертикальной плоскости.

Авторами разработано устройство, показанное на рисунке 1, позволяющее балансировать этот маятник.

Балансировка производится следующим образом:

*В горизонтальной плоскости.*

1. Две стеклянные плоскопараллельные призмы (например, по ГОСТ 1121-54) устанавливают одну на другую, и, используя пузырьковый уровень, с помощью регулировочных винтов, добиваются горизонтального положения поверхности верхней призмы.

2. На экране отмечают положение луча лазера, отраженного от этой поверхности.

3. Снимают верхнюю призму и устанавливают на ее место маятник (призма и маятник должны быть одинаковой высоты) с помощью подъемного устройства.

4. Регулируют балансировочные винты маятника до тех пор, пока отраженный от его зеркала луч не совпадет с отметкой на экране.

*В вертикальной плоскости.*

5. Устанавливают маятник на плоскопараллельный брусок и перемещают этот брусок с небольшим ускорением в направлении, перпендикулярном длинной оси маятника. Наблюдают направление отклонения маятника в начале движения. Регулируя вертикальные балансировочные грузы маятника, добиваются того, чтобы в начале перемещения бруска маятник сохранял состояние покоя.

Повторяют пункты 1–4 статической балансировки.

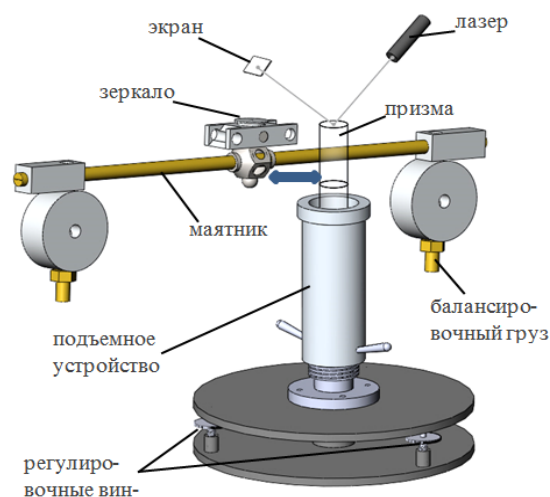


Рисунок 1 – Балансировка маятника с одним шариком

Результатом балансировки по пункту 5 является совпадение положения центра масс маятника на пятне контакта.

В идеале, когда маятник качается без поперечных колебаний и нет шума, траектория движения маятника должна иметь форму прямой вертикальной линии. Однако реальная траектория напоминает фигуру Лиссажу (рисунок 2).

Если траектория имеет наклон к оси Y, ось XY матрицы поворачивается относительно лазерного луча, пока не получится прямое движение вдоль оси Y пятна с отклонением вдоль оси X в пределах один пиксель, который соответствует ошибке оптической системы (повидимому, получить лучший результат невозможно).

Это можно сделать, запустив маятник с большой осторожностью, и, кроме того, необходимо начинать регистрировать колебания маятника не с самого начала, а несколько позже, когда боковые колебания маятника практически исчезнут (рисунок 3).

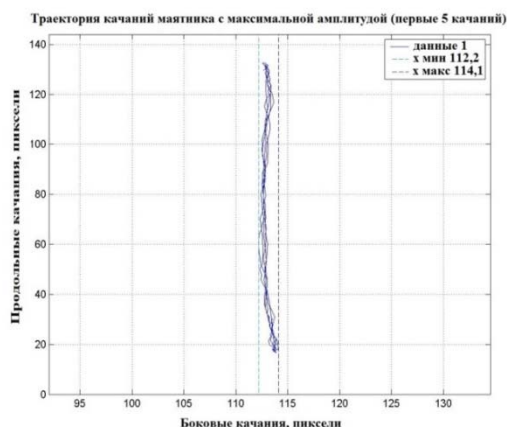


Рисунок 2 – Траектория качаний маятника с максимальной амплитудой

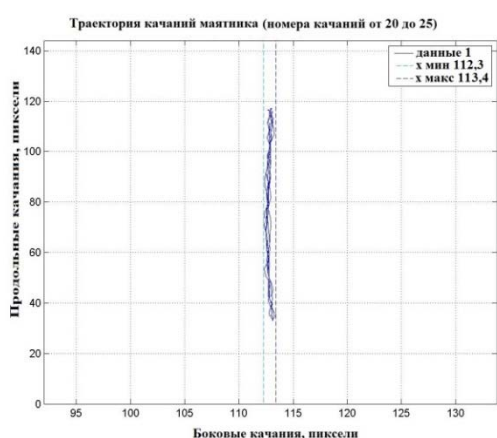


Рисунок 3 – Траектория качаний маятника

Проведенные экспериментальные исследования показали, что маятник сбалансированный по приведенной методике, характеризуется устойчи-

выми колебаниями в одной плоскости и уровень влияние вибраций основания на период колебаний маятника для данной конструкции маятника оказался значительно ниже, чем в маятниках, в которых условия невозмущаемости не соблюдалось.

### Литература

1. Менделеев, Д.И. Опытное исследование колебания весов и возобновление прототипа или основной образцовой русской меры массы в 1893-1898 гг. / Д.И. Менделеев. С предисл. М.А. Шателена. – Л. Гос. науч.-техн. изд-во, Ленхимсектор, 1931. – 302 с.
2. Herbert, E.G. Some Recent developments in hardness testing / E.G. Herbert // The Engineer. – 1923. – Vol. 135. – P. 686–687.
3. Авдеев, Б.А. Испытательные машины и приборы / Б.А. Авдеев. – М.: Машгиз, 1957. – 354 с.
4. Halama, R. Mechanics of Herbert Pendulum Hardness Tester and its Application / R. Halama [et al.] // Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications Ltd, 2017. – Vol. 741. – P. 122–127. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.741.122>.
5. Matsubara, M. Improved Herbert hardness tester / M. Matsubara and K. Sakamoto // Experimental Techniques. – 2012. – Vol. 36. – №. 3. – P. 73–76. [doi:10.1111/j.1747-1567.2011.00736.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2011.00736.x).
6. Suzuki, R. Hardness Measurement for Metals Using Lightweight Herbert Pendulum Hardness Tester With Cylindrical Indenter / R. Suzuki [et al.] // Experimental Techniques. – 2016. – Vol. 40. – №. 2. – P. 795–802. [doi:10.1111/ext.12121](https://doi.org/10.1111/ext.12121).
7. Heins, R.W. An Evaluation of the Rehbinder-Kuznetsov Pendulum Technique In Hardness Measurements / R.W. Heins and N. Street // Society of Petroleum Engineers Journal. – 1965. – Vol. 5, №. 02. – P. 177–183. <https://doi.org/10.2118/1048-PA>.
8. ГОСТ 5233-89. Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытий по маятниковому прибору. – Введен: 01.01.1990. – М.: ИПК издательство стандартов, 2003. – 5 с.

УДК 621.83.52

## УСТРОЙСТВА РАЗВЯЗКИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ПОМЕХ СО СТОРОНЫ МОЩНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Смолина Е.В.

ФГБУН «Институт лазерной физики» СО РАН  
Новосибирск, Российская Федерация

При запуске энергетического оборудования, входящего в состав установки для моделирования процессов солнечной плазмы КИ-1 ИЛФ СО РАН, в процессе проведения эксперимента, возникает проблема, обусловленная воздействием окружающей электромагнитной обстановки на систему транспорта импульсов синхронизации измерений. Следствием такого воздействия является несвоевременное срабатывание измерительного оборудования, которое приводит к ложным запускам регистрирующих систем и срывам процесса измерения.

В настоящее время система транспорта импульсов синхронизации измерений (триггера) на установке КИ-1 ИЛФ СО РАН выполнена на основе коаксиального кабеля, сами импульсы триггера генерируются секвенсором на основе генераторов задержанных импульсов ГЗИ-6, размещенных в защищенном зале. Этот же секвенсор генерирует импульсы зажигания водородных тиратронов силовых цепей установки. Для ограничения величины наведенного на оплетку кабеля тока используется дополнительное экранирование, а для ограничения области растекания