

Всероссийское СМИ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

*Седов Д.К. Лабораторная установка для изучения гистерезисного трения // V-я Всероссийская научно-практическая конференция «Особенности применения образовательных технологий в процессе обучения и воспитания», 01 – 10 декабря 2017 г. – 0,2 п. л. – URL: [http://akademnova.ru/publications\\_on\\_the\\_results\\_of\\_the\\_conferences](http://akademnova.ru/publications_on_the_results_of_the_conferences)*

### **СЕКЦИЯ: ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

**Д. К. Седов**

Студент педагогического института, сотрудник СКБ «Хронос»

ФТБУ ПО Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Научный руководитель: Шарыгин Л.Н.

профессор кафедры технологического и экономического образования

г. Владимир, Владимирская область

Российская Федерация

### **ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ТРЕНИЯ**

Методы и применяемое оборудование для испытания материалов систематизированы в монографии Л.М. Школьника [5]. Большинство установок используют циклическое нагружение образца, т.е. колебания в той или иной форме. Широко используются вынужденные колебания, когда устройство нагружения выполнено на основе [1]. В ряде случаев целесообразнее применять автоколебания [3].

Известные методы и установки для испытания материалов позволяют выявить параметры внутреннего трения косвенно, через уравнение движения, что приводит к погрешностям [2,4].

Предлагаем основные конструктивные решения по созданию установки для определения внутреннего (гистерезисного) трения – рис. 1-4.

Установка состоит из устройства нагружения и электронного блока (на прилагаемых чертежах не показан). Устройство нагружения содержит датчик скорости и измеритель амплитуды. Электронный блок предназначен для электропитания измерителя амплитуды и обработки первичной информации.

Устройство нагружения выполнено в виде массивного маятника, содержащего жесткую часть, составленную из стержня 1 и линзы 2. Линза представляет собой закрываемый объем, в котором перемещаются добавочные грузы 3 массой  $m_{доб}$ , без нарушения внешней поверхности. На конце стержня 1 закреплена магнитная система датчика скорости, составленная из магнитопровода 4 и двух и двух постоянных магнитов 5 осевой намагниченности с образованием магнитного зазора в плоскости колебаний маятника. Жесткая часть маятника выполнена таким образом, что ее центр масс находится в центре  $O_L$  линзы. Дополнительные грузы имеют форму дисков или шайб, и их установка в линзу не изменяет положения центра масс жесткой части маятника.

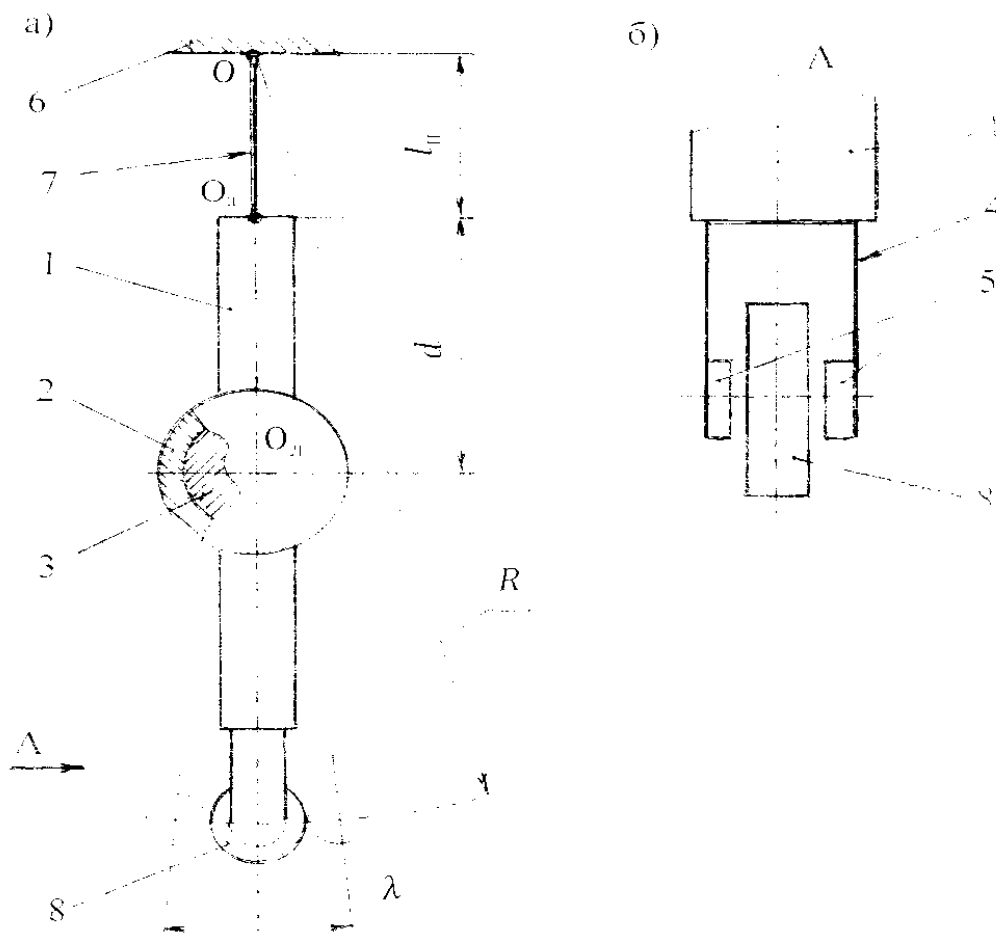


Рис. 1. Конструктивная схема установки

В точке  $O$  основания  $6$  установки перемещен пассивный захват. Активный захват установлен в точке  $O_a$  в верхней части стержня  $1$ . В захваты устанавливается либо технологический подвес  $7$ , либо образец материала.

В зазоре магнитной системы установлена в положении равновесия маятника неподвижная электрическая катушка  $8$ . Катушка совместно с магнитной системой образует датчик скорости, поскольку индукционная ЭДС в соответствии с законом электромагнитной индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока. При колебаниях маятника индукционная ЭДС возникает в интервале угла поворота  $\lambda$  от одного

касательного положения магнитного зазора до другого. Электронный блок формирует прямоугольный импульс длительностью  $t_u$ , соответствующей времени движения по углу  $\lambda$ .

Имеется измеритель амплитуды колебаний маятника оптического типа. В состав измерителя амплитуды входит неподвижный осветитель 9, который формирует луч света с оптической риской. На стержне маятника закреплено плоское зеркало 10. Отраженный от зеркала луч осветителя попадает на неподвижную шкалу 11. Пользователь будет наблюдать на шкале световое пятно с оптической риской. В амплитудном положении скорость перемещения светового пятна по шкале равна нулю, поэтому сопоставить положение оптической риски с делениями шкалы не представляет труда.

Обратимся к принципу определения внутреннего трения в материале. Будем рассматривать общий случай – образцы материала имеют разные типоразмеры. Воспользуемся методом моделей [6].

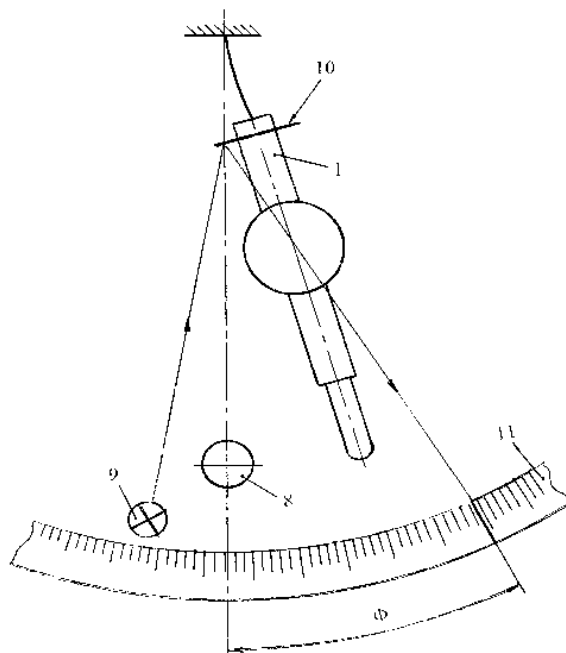


Рис. 2. Устройство измерителя амплитуды

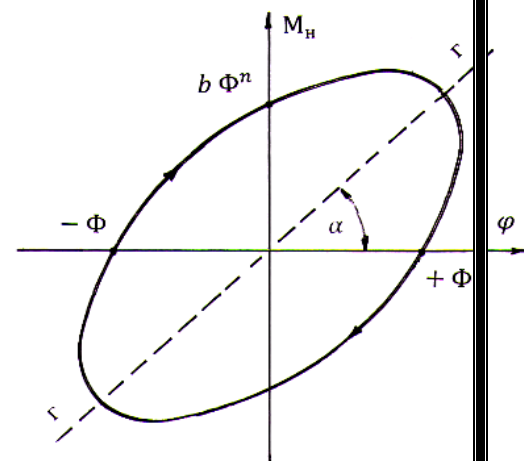


Рис. 3. Форма петли механического гистерезиса

Принимает 1-ю физическую модель маятника в виде консервативной системы с технологическим подвесом удовлетворяющим условию

$$m_{7-1} \ll m_0 + m_{доб1}, \quad (1)$$

где  $m_{7-1}$  – масса технологического подвеса;

$m_0$  – масса жесткой части маятника.

Положим также, что технологический подвес изготовлен с малой изгибной жесткостью  $D_{7-1}$ . Тогда восстанавливающий момент от силы тяжести окажется существенно больше от восстанавливающего момента от сил упругости технологического подвеса

$$g(m_0 + m_{доб1})\varphi \gg D_{7-1}\varphi. \quad (2)$$

Конструктивно технологический подвес, удовлетворяющий условиям (1) и (2) может быть изготовлен из материала с высоким значением предела пропорциональности и малым сечением, удовлетворяющим условию прочности, например из сплава Н41ХТА.

Для 1-ой физической модели консервативной системы, удовлетворяющей условиям (1) и (2), воспользовавшись методом Лангранжа при малых отклонениях  $\varphi$  маятника получим математическую модель в форме периода колебаний

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(m_0 + m_{доб1})(d + l_{п})^2}{(m_0 + m_{доб1})g(d + l_{п})}} = 2\pi \sqrt{\frac{d + l_{п}}{g}} \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести;

$d, l_{п}$  – обозначены на рис.1.

Примем 2-ю физическую модель маятника в виде консервативной системы, в которой в качестве подвеса применен образец материала,

имеющий статическую изгибную жесткость  $D_{7-2}$ . По аналогии для 2-й модели период колебаний будет равен

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{(m_0 + m_{\text{доб2}})(d + l_{\text{п}})^2}{(m_0 + m_{\text{доб2}})g(d + l_{\text{п}})2D_{7-2}}}. \quad (4)$$

Для определенности заметим, что жесткость  $D_{7-2}$  это закон Гука – см. функцию г-г на рис. 3.  $D_{7-2} = \text{tg } \alpha$  в размерностях координат и определяется при статическом нагружении. Однако реальные системы являются нелинейными и диссипативными. В 1-й модели следует учесть потери энергии при колебаниях на вязкое трение (трение о воздух) с моментом

$$M_B = h\varphi, \quad (5)$$

где  $h$  – коэффициент вязкого трения;

$\varphi$  – угловая скорость.

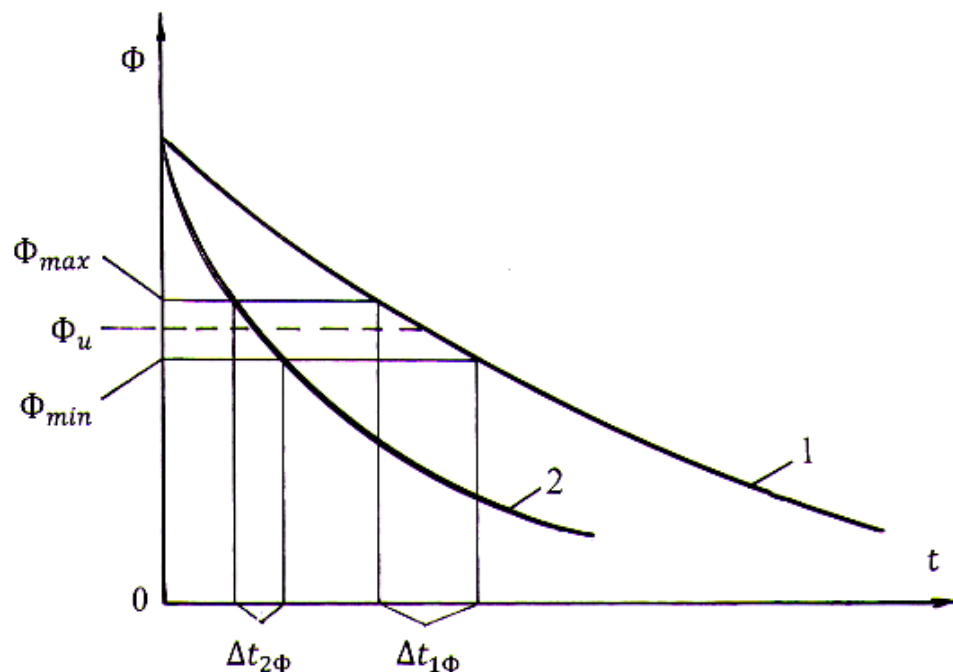


Рис. 4. Огибающие амплитуд свободных колебаний

Потерями энергии на образование сигнала датчика скорости можно пренебречь, т.к. потребляемый формирователем  $t_u$  электронного блока ток катушки 8 пренебрежимо мал.

По вышеприведенному условию грузы модели  $m_{доб}$  не изменяют форму маятника, поэтому для 2-й модели момент вязкого трения будет определяться по этой же формуле.

Но в диссипативной модели 2-й системы добавляется к моменту  $M_B$  момент  $M_H$  на внутреннее трение в образце материала

$$M_H = f(\varphi). \quad (6)$$

Вид функции (6) приведен на рис. 3.

Интегральным показателем внутреннего трения в материале является площадь петли механического гистерезиса

$$W_H \int_{-}^{+} M_H d\varphi. \quad (7)$$

Принцип выявления параметра (7) удобно пояснить по рис. 4, где показаны огибающие амплитуд с технологическим подвесом – график 1 и с подвесом в виде образца – график 2 при условии

$$T_1 = T_2. \quad (8)$$

Графики наглядно показывают, что время движения  $t_{2\phi}$  маятника при наличии суммарного (вязкого и внутреннего) трения на участке амплитуд  $\phi_{max} - \phi_{min}$  меньше, чем время движения  $t_{1\phi}$  на том же участке при наличии только вязкого трения. Амплитудные графики рис. 4 отражают потери энергии при колебаниях маятника в потенциальной форме.

Переходя к кинетическим энергиям получим для фиксированной амплитуды измерения  $\phi_u$  за один период колебания

$$W_H = W_{K2} - W_{K1} = \frac{1}{2}I_2\varphi_2^2 - \frac{1}{2}I_1\varphi_1^2, \quad (9)$$

где  $I_1$ ,  $I_2$  – соответственно моменты инерции маятника с технологическим подвесом и с подвесом из образца материала.

Значения угловых скоростей  $\varphi$  определяется временем движения  $t_u$  на угле  $\lambda$

$$\varphi = \frac{\lambda}{Rt_u}. \quad (10)$$

С учетом формул (9), (10) получим

$$W_H = \frac{\lambda^2}{2R^2} \left( \frac{I_2}{t_{u2}^2} - \frac{I_1}{t_{u1}^2} \right). \quad (11)$$

Формула (11) позволяет проектировать установки для разных типоразмеров образцов. В частном случае рабочая длина  $l_{\Pi}$  одного топоразмера образцов постоянна. Тогда геометрические параметры установки:  $l_{\Pi}$ ,  $d$ ,  $\lambda$ ,  $R$  и момент инерции маятника  $I_1$

$$I_1 = m_0(d + l_{\Pi})^2$$

являются константами установки и могут быть записаны во флеш-память электронного блока.

Заметим, что коэффициент вязкого трения  $h$  зависит от формы маятника (постоянная величина) и плотности воздуха, которая является функцией барометрического давления и влажности.

Пользуются установкой для определения внутреннего трения в материале следующим образом:

1. Устанавливаются захваты технологический подвес. Этому подвесу соответствует период колебания маятника  $T_l$ . На измерительной амплитуде  $\varphi_u$  (20-30°С) фиксирует в электронном блоке значение  $t_{u1}$ .



2. Устанавливают в захваты образец материала. Подбором добавочного груза  $m_{доб}$  добиваются значение периода колебаний  $T_1=T_2$ . По незахронности колебаний это равенство предпочтительно реализовывать при небольших амплитудах (несколько градусов).

3. Заносят значения  $m_{доб}$  во флеш-память электронного блока.

4. Фиксируют в электронном блоке первичный параметр  $t_u$  на амплитуде  $\phi_u$ .

5. Переводят электронный блок в режим вычисления по формуле (11), где  $I_2=I_1+m_{доб}(d+l_{II})^2$ .

Результат измерения потерь энергии на внутреннее трение за один цикл (период) нагружения образца материала получают на индикаторе электронного блока.

Таким образом, предполагаемая установка для определения внутреннего трения в материале позволяет непосредственно выявить искомый параметр в единицах измеряемой величины, что обеспечивает необходимую точность определения внутреннего трения в материале. Установка конструктивно просто и не требует высокой квалификации оператора при проведении испытаний.

#### Список использованной литературы:

1. Установка для испытаний образцов при циклическом нагружении. Патент RU 2488804 МПК G01N 3/32. / Е.В. Лодус, А.В. Никифоров, А.Н. Павлович, Д.Ю. Таланов. Оpubл. 27.07.2013.

2. Установка для испытания материалов на усталость. Патент RU 145686 МПК G01N 3/38. / И.О. Груздев, Л.Е. Каткова, Н.А. Елгаев, Л.Н. Шарыгин. Оpubл. 20.09.2014.

**Всероссийское СМИ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

**(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)**

**Сайт:** [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

**e-mail:** [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

3. Установка для ускоренных испытаний материалов на усталость. Патент RU 108843 МПК G01N 3/32. / А.Н. Сушина, Н.А. Елгаев, Л.Н. Шарыгин. Опубл. 27.09.2011.

4. Установка для усталостных испытаний деталей на остаточный ресурс. Патент RU 100622 МПК G01N 3/32. / А.Н. Сушина, Н.А. Елгаев, Л.Н. Шарыгин. Опубл. 20.12.2010.

5. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний / Л.М. Школьник. – М.: Металлургия, 1978. – 204 с.

6. Шарыгин Л.Н. Проектирование конкурентоспособных технических изделий: учебник / Л.Н. Шарыгин. – Владимир: изд-во ВИТ-принт, 2013. – 290 с.

***Опубликовано: 07.12.2017 г.***

***© Академия педагогических идей «Новация», 2017***

***© Седов Д.К., 2017***