

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016150472, 21.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
21.12.2016Дата регистрации:  
11.05.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2016

(45) Опубликовано: 11.05.2017 Бюл. № 14

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для Витушкина  
В.В. (каф. ФН-3)

(72) Автор(ы):

Дубинин Владимир Валентинович (умер),  
Витушкин Вячеслав Валентинович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
технический университет имени Н.Э.  
Баумана (национальный исследовательский  
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: SU 1831716 A3, 30.07.1993. SU  
736160 A1, 25.05.1980. RU 132914 U1,  
27.09.2013. SU 896670 A1, 07.01.1982. KR  
20160070475 A, 20.06.2016.(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ  
ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

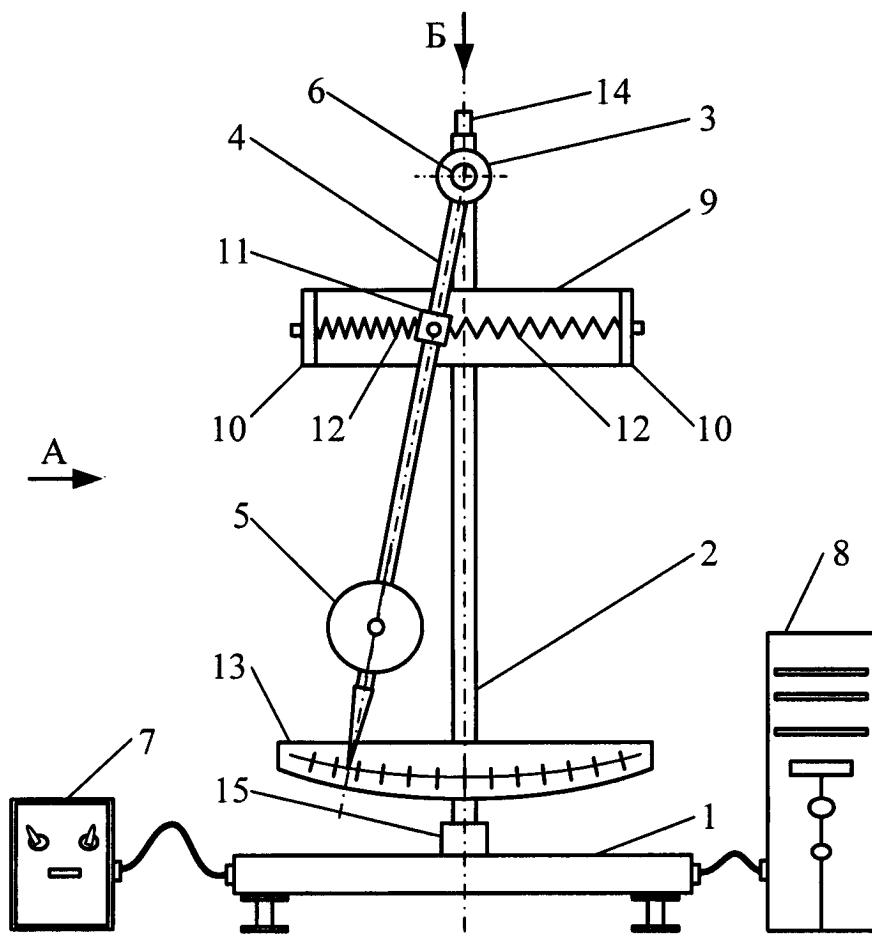
## (57) Реферат:

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике и представляет собой устройство для демонстрации и исследования свободных колебаний физического маятника. Оно содержит основание и стойку с кронштейном, в котором шарнирно закреплен физический маятник, состоящий из стержня с грузом, а также датчик перемещений маятника, соединенный с блоком питания и ПЭВМ. Сущность модели в том, что устройство снабжено механизмом регулирования жесткости системы в виде установленного на стойке дополнительного кронштейна с двумя консолями и закрепленной

на стержне муфты, соединенной с консолями двумя пружинами растяжения, причем кронштейн и муфта снабжены фиксаторами их положения на стойке и стержне. При этом верхний конец стойки конструктивно выполнен идентично нижнему ее концу с возможностью крепления стойки на основании верхним ее концом. Кроме того, датчик перемещений маятника выполнен в виде потенциометра, соосного шарниру стержня, и на стойке закреплена шкала визуального отсчета отклонений маятника. Это позволяет повысить информативность и точность демонстрации и исследования колебаний. 2 з.п. ф-лы, 5 ил.

1  
U  
3  
5  
8  
0  
1  
7  
0  
8  
5  
3  
U  
1R  
U  
1  
7  
0  
8  
5  
3  
U  
1

РУ 170853 У1



Фиг. 1

РУ 170853 У1

## Область техники

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике и может быть использована в высших технических учебных заведениях при изучении свободных колебаний механической системы с одной степенью 5 свободы.

## Уровень техники

Известно устройство для демонстрации и исследования свободных колебаний физического маятника, содержащее основание, закрепленную на основании вертикальную стойку с кронштейном, физический маятник, состоящий из шарнирно 10 закрепленного на кронштейне стержня и установленного на стержне груза, датчик перемещений маятника, блок питания и обработки сигналов датчика, а также персональный компьютер (см. Авторское свидетельство СССР №1831716, кл. G09B 23/ 08, 1991 г.).

Недостатки этого устройства заключаются в следующем.

15 В нем не обеспечивается в достаточно широком диапазоне регулирование жесткости колебательной системы и соответственно частоты колебаний, что существенно сужает диапазон исследований колебательных процессов. В частности, не позволяет осуществлять исследования колебаний в положениях равновесия, близких к неустойчивому положению. Кроме того, в этом устройстве регистрируются только 20 периоды колебаний и не обеспечивается запись углов отклонения маятника от вертикального положения равновесия, что не позволяет исследовать собственно процесс колебаний, в частности, оценивать влияние на этот процесс сопротивления. Все это существенно снижает информативность исследований.

## Раскрытие полезной модели

25 Задачей полезной модели является существенное расширение эксплуатационных характеристик устройства для исследования свободных колебаний физического маятника, т.е. повышение информативности и точности исследований путем обеспечения регулирования в широком диапазоне жесткости колебательной системы, а также 30 регистрации углов отклонения маятника от положения равновесия в реальном масштабе времени.

Задача данной полезной модели достигается тем, что известное устройство для демонстрации и исследования свободных колебаний физического маятника, содержащее основание, закрепленную на основании вертикальную стойку с кронштейном, физический маятник, состоящий из шарнирно закрепленного на кронштейне стержня 35 и установленного на стержне груза, датчик перемещений маятника, блок питания и обработки сигналов датчика, а также персональный компьютер, согласно полезной модели снабжено механизмом регулирования жесткости колебательной системы, состоящим из установленного на стойке дополнительного кронштейна с консолями, расположеннымными с двух сторон стержня симметрично относительно вертикали в 40 плоскости угловых перемещений маятника, и установленной на стержне муфты, соединенной с консолями дополнительного кронштейна посредством двух пружин растяжения, причем дополнительный кронштейн и муфта снабжены фиксаторами их 45 положения соответственно на стойке и стержне, при этом верхний конец стойки конструктивно выполнен идентично нижнему ее концу с возможностью крепления стойки на основании верхним ее концом.

Датчик перемещений маятника выполнен в виде потенциометра, установленного соосно шарниру крепления стержня на стойке.

На стойке закреплена пластина со шкалой визуального отсчета угловых отклонений

стержня маятника от вертикали.

Перечень фигур.

На фиг. 1 представлена схема устройства.

На фиг. 2 показан вид А по фиг. 1.

На фиг. 3 показан вид Б по фиг. 1.

На фиг. 4 приведен типичный вид графика свободных затухающих колебаний.

На фиг. 5 показана схема сил, действующих на маятник устройства.

Осуществление полезной модели

Схема устройства приведена на фиг. 1-3 (здесь блок электропитания и блок записи

и обработки сигналов датчиков показаны условно на фиг. 1 и не показаны на фиг. 2 и 3, кроме того, на фиг. 1 маятник показан в произвольном, отклоненном от вертикали положении, а на фиг. 2 и 3 он изображен в вертикальном положении, соответствующем состоянию покоя).

Устройство содержит основание 1, на котором закреплена вертикальная стойка 2 с

кронштейном 3, физический маятник, состоящий из шарнирно установленного в кронштейне 3 стержня 4 с закрепленном на нем грузом 5, датчик 6 углов отклонения маятника от вертикального положения, выполненный в виде потенциометра, блок 7 питания и обработки сигналов датчика, а также персональный компьютер 8. Устройство снабжено также установленным на стойке 2 дополнительным кронштейном 9 с

консолями 10, расположенными с двух сторон стержня 4 симметрично относительно вертикали в плоскости угловых перемещений маятника, и муфтой 11, закрепленной на стержне. При этом дополнительный кронштейн и муфта соединены между собой посредством двух пружин 12 растяжения, которые предварительно деформированы так, чтобы не происходило их полное ослабление в процессе колебаний маятника.

Кроме того, на стержне 4 закреплена пластина 13 со шкалой визуального отсчета углов отклонения маятника от вертикали, а верхний конец 14 стойки 2 конструктивно выполнен идентично нижнему ее концу таким образом, что стойка вместе с маятником может быть повернута на 180° в вертикальной плоскости и закреплена своим верхним концом в узле 15 крепления стойки в основании 1. Например, на верхнем и нижнем

концах стойки могут быть выполнены цилиндрические шейки одинакового размера, а в узле 15 соответствующее по диаметру отверстие.

Работает данное устройство следующим образом.

Вначале при включении блока 7 подводят к датчику 6 электропитание и проводят тарировку датчика. Для этого отклоняют маятник от его вертикального положения равновесия на заданный угол и с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) записывают соответствующее выходное напряжение в программу обработки сигналов датчика на персональном компьютере (ПЭВМ). Это позволяет в дальнейшем определять значения угла отклонения маятника пропорционально величине сигнала датчика.

При проведении эксперимента отклоняют маятник от положения равновесия на начальный угол  $\phi_0$ , равный, например 10°, и отпускают его без начальной скорости. В результате этого маятник будет совершать свободные затухающие колебания относительно положения равновесия, при этом выходное напряжение датчика (его сигнал) будет изменяться пропорционально углу  $\phi$  отклонения маятника и регистрироваться в ПЭВМ в реальном масштабе времени. По этим данным строится зависимость угла отклонения маятника от времени  $\phi = f(t)$ , которая отображается на экране дисплея ПЭВМ в виде графика. В качестве примера на фиг. 4 показан

типичный график  $\phi = f(t)$  свободных затухающих колебаний механической системы.

Здесь введены обозначения:  $\phi$  - угол отклонения маятника от положения равновесия,  $t$  - время колебаний,  $\phi_0$  - начальное отклонение,  $T$  - условный период колебаний.

<sup>5</sup> Затухание колебаний происходит вследствие сопротивления движению сил трения в окружающей среде, в кронштейне 3 и датчике 6.

В данном устройстве, переустановливая груз 5 в различных положениях на стержне 4, можно изменять суммарный момент инерции маятника относительно оси его колебаний, а перемещая дополнительный кронштейн 9 и муфту 11 соответственно по стойке 2 и стержню 4, можно изменять суммарный момент сил упругой деформации пружин 12 относительно указанной оси. Более того, установив стойку 2 верхним концом 14 в узле 15, можно исследовать колебания маятника относительно положения равновесия, близкого к неустойчивому положению или со смещением положения равновесия от вертикали. Все это существенно расширяет диапазон возможных <sup>10</sup> параметров исследований свободных затухающих колебаний механической системы.

Кроме того, данное устройство позволяет определять важные характеристики колеблющейся системы, сопоставляя полученный экспериментальный график колебаний с расчетной зависимостью  $\phi = f(t)$ , которую можно найти, интегрируя

<sup>20</sup> дифференциальное уравнение движения маятника.

Для составления дифференциального уравнения следует обратиться к схеме действующих на маятник сил, приведенной на фиг. 5, где показаны:

<sup>25</sup>  $\bar{P}_r$ ,  $\bar{P}_c$  и  $\bar{P}_m$  - силы тяжести груза 5, стержня 4 и муфты 11, соответственно равные

$P_r = m_r g$ ,  $P_c = m_c g$  и  $P_m = m_m g$ , где  $m_r, m_c$  и  $m_m$  - их массы;

$\bar{F}_1$  и  $\bar{F}_2$  - силы натяжения пружин;

<sup>30</sup>  $\bar{X}_O$  и  $\bar{Y}_O$  - силы реакции, возникающие в шарнире О;

$M_c$  - момент сил вязкого сопротивления внешней среды и трения в шарнире О;

$M_{tr}$  - момент сил сухого трения в потенциометре;

$\phi$  и  $\dot{\phi}$  - угол отклонения маятника от положения равновесия и его угловая скорость.

<sup>35</sup> Дифференциальное уравнение вращательного движения маятника относительно точки О имеет вид

$$J\ddot{\phi} = \sum_{k=1}^n M_O(\bar{F}_k),$$

<sup>40</sup> где  $J$  - суммарный момент инерции маятника (стержня, груза и муфты) относительно точки О,

$\sum_{k=1}^n M_O(\bar{F}_k)$  - сумма моментов относительно точки О действующих на маятник сил

<sup>45</sup> тяжести груза, стержня и муфты, сил натяжения пружин и сил сопротивления.

Рассматривая движение маятника в рамках теории линейных колебаний, можно принять следующие допущения.

Пренебречь отклонениями осей пружин 12 (см. фиг. 1-3) и соответственно линий

действия сил  $\bar{F}_1$  и  $\bar{F}_2$  натяжения пружин от горизонтали, принять зависимости этих сил от деформации пружин, а также сил вязкого сопротивления в воздухе и трения в шарнире О от угловой скорости вращения маятника линейными. Причем вследствие малости углов отклонения маятника от вертикали считать  $\sin\phi \approx \phi$  и  $\cos\phi \approx 1$ . При этих допущениях дифференциальное уравнение движения маятника примет вид

$$J\ddot{\phi} = -c\phi - \mu\dot{\phi} \pm M_{tr},$$

где  $c$  - обобщенный коэффициент жесткости системы,  $\mu$  - обобщенный коэффициент вязкого сопротивления,  $M_{tr}$  - момент сил сухого трения.

Здесь величина момента сил сухого трения  $M_{tr}$  не зависит ни от положения маятника, ни от величины его угловой скорости, а его знак определяется направлением изменения угла  $\phi$ , т.е знаком угловой скорости  $\dot{\phi}$ .

После сокращения на  $J$  получаем дифференциальное уравнение движения маятника в приведенном виде

$$\ddot{\phi} + 2n\dot{\phi} + \omega^2\phi \pm M_{tr}/J = 0$$

или  $\ddot{\phi} + 2n\dot{\phi} + \omega^2[\phi + \alpha \cdot \text{sgn}(\dot{\phi})] = 0$ ,

где  $n$  - коэффициент затухания колебаний (обобщенный коэффициент сопротивления);  $\omega$  - частота собственных колебаний маятника без сопротивления;

$\alpha = M_{tr}/c$  - угол поворота маятника, который мог бы вызвать приложенный к нему момент сил трения  $M_{tr}$ .

Полученное дифференциальное уравнение второго порядка является нелинейным, и оно с помощью ПЭВМ может быть проинтегрировано численно при тех же начальных условиях, при которых проводится запись колебаний маятника. Результаты такого интегрирования выводятся на экран дисплея ПЭВМ вместе с экспериментальным графиком колебаний маятника. При этом, варьируя значения величин  $n$ ,  $\omega$  и  $\alpha$  в дифференциальном уравнении, добиваются максимально возможного совпадения расчетной кривой с экспериментальным графиком. Подобранные таким образом величины  $n$  и  $\alpha$  соответствуют действительным значениям коэффициентов вязкого и сухого трения. Это означает, что данная установка позволяет с высокой степенью точности определять коэффициенты вязкого и сухого трения маятника, которые другим путем определить весьма затруднительно.

Таким образом, данная полезная модель позволяет существенно расширить эксплуатационные характеристики устройства для демонстрации и исследования свободных колебаний физического маятника по сравнению с известным устройством, так как обеспечивают регулирование в широком диапазоне физических параметров системы. Кроме того, она позволяет существенно повысить точность и информативность исследований путем сравнения записей экспериментальных колебаний с расчетными зависимостями.

#### (57) Формула полезной модели

1. Устройство для демонстрации и исследования свободных колебаний физического маятника, содержащее основание, закрепленную на основании вертикальную стойку с кронштейном, физический маятник, состоящий из шарнирно закрепленного на кронштейне стержня и установленного на стержне груза, датчик перемещений маятника,

блок питания и обработки сигналов датчика, а также персональный компьютер, отличающееся тем, что оно снабжено механизмом регулирования жесткости колебательной системы, состоящим из установленного на стойке дополнительного кронштейна с консолями, расположенными с двух сторон стержня симметрично

5 относительно вертикали в плоскости угловых перемещений маятника, и установленной на стержне муфты, соединенной с консолями дополнительного кронштейна посредством двух пружин растяжения, причем дополнительный кронштейн и муфта снабжены фиксаторами их положения соответственно на стойке и стержне, при этом верхний конец стойки конструктивно выполнен идентично нижнему ее концу с возможностью

10 крепления стойки на основании верхним ее концом.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что датчик перемещений маятника выполнен в виде потенциометра, установленного соосно шарниру крепления стержня на стойке.

3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что на стойке закреплена пластина со шкалой визуального отсчета угловых отклонений стержня маятника от вертикали.

15

20

25

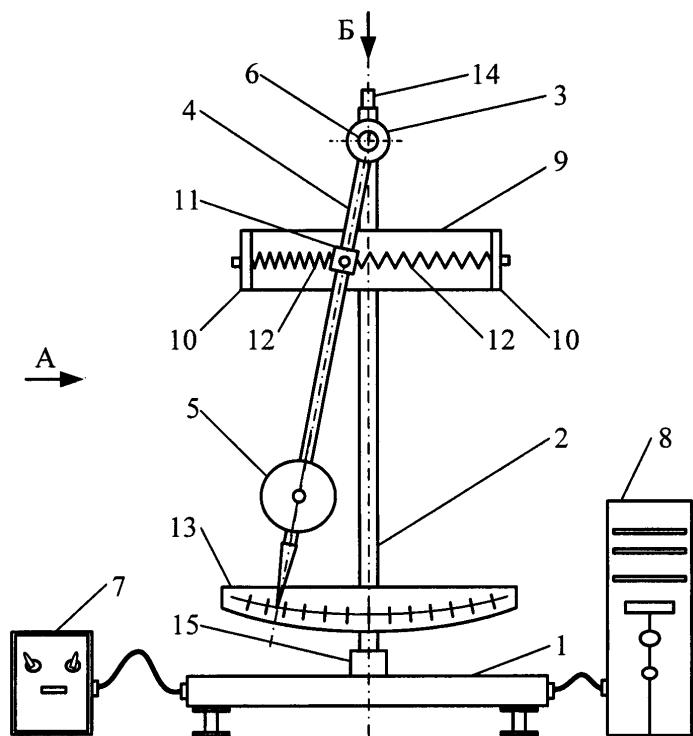
30

35

40

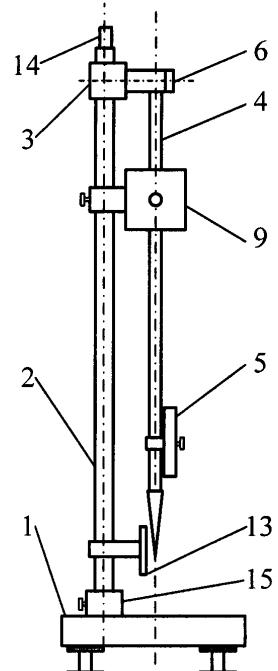
45

«Устройство для демонстрации и исследования свободных колебаний физического маятника»



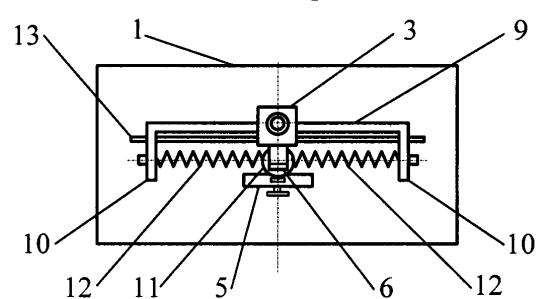
Фиг. 1

Вид А по фиг. 1

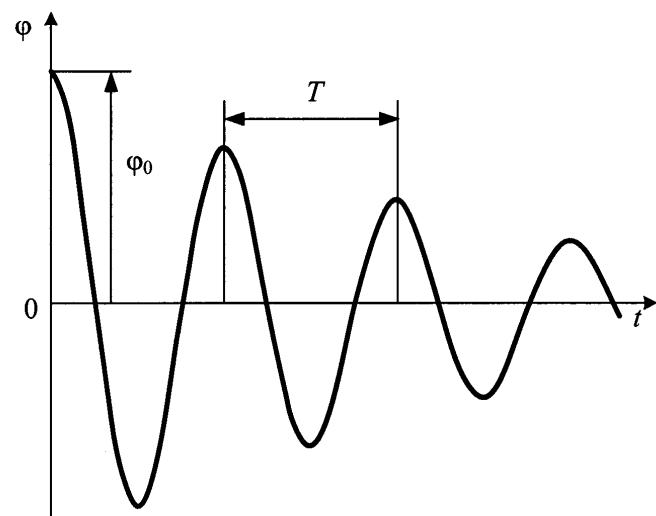


Фиг. 2

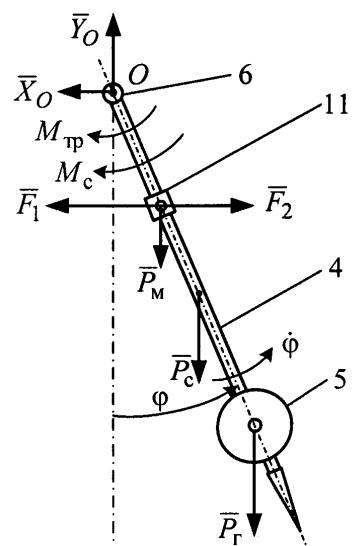
Вид Б по фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5