



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016150473, 21.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.12.2016

Дата регистрации:
05.06.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2016

(45) Опубликовано: 05.06.2017 Бюл. № 16

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 (RU),
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 1273976 A1, 30.11.1986. RU 132914 U1, 27.09.2013. SU 1831716 A3, 30.07.1993. CN 104537931 A, 22.04.2015.

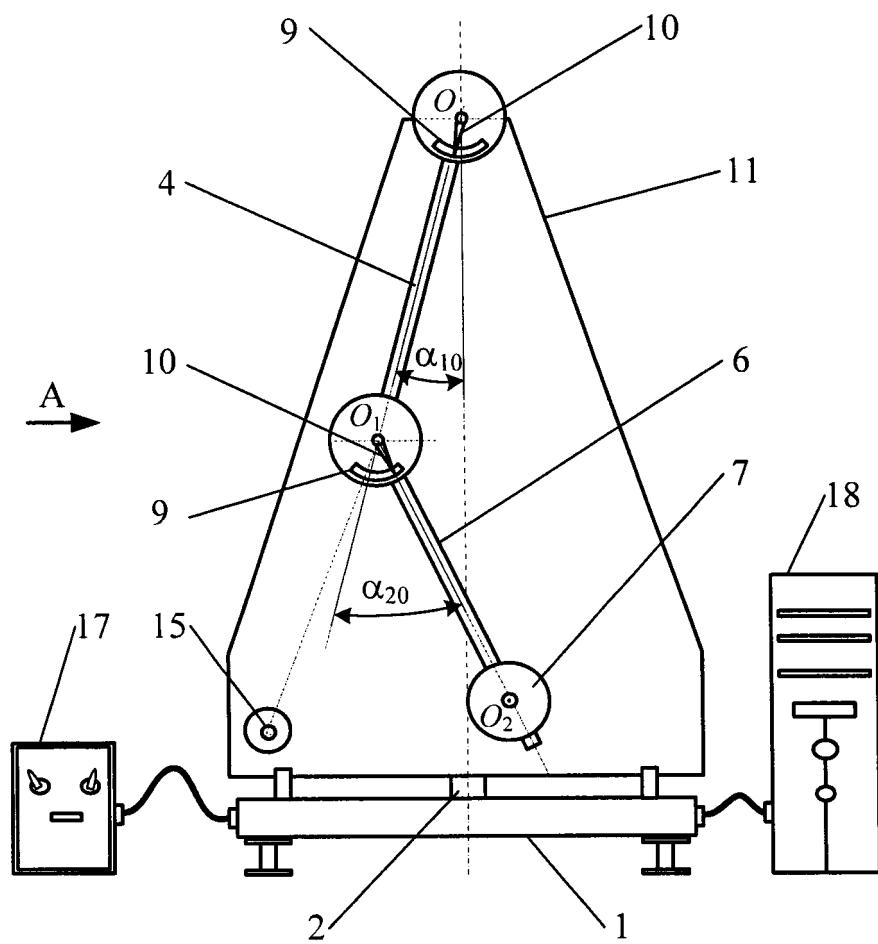
(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике и представляет собой устройство для демонстрации и исследования свободных колебаний механической системы с двумя степенями свободы. Оно содержит основание, стойку с кронштейном и два физических маятника, каждый из которых состоит из стержня с грузом на его конце. Причем стержень одного из маятников шарнирно установлен на кронштейне, а стержень другого также шарнирно закреплен на свободном конце первого маятника. На основании между стойкой

и маятниками установлена панель, на которой закреплены фиксаторы маятников в начальных положениях, соответствующих их колебаниям с главными частотами, выполненные в виде электромагнитов с сердечниками, взаимодействующими с соответствующими отверстиями в грузах маятников. При этом устройство снабжено датчиками углов отклонения маятников от положения равновесия, выполненными в виде потенциометров, блоком питания датчиков и блоком обработки их сигналов, в качестве которого применен персональный компьютер. 2 з.п. ф-лы, 6 ил.

R U 171515 U 1



Фиг. 1

R U 171515 U 1

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 двумя степенями свободы.

Уровень техники

Известно устройство для демонстрации и исследования свободных колебаний механической системы с двумя степенями свободы, содержащее основание, закрепленную на основании вертикальную стойку и установленные на стойке два физических маятника,

10 один из которых выполнен в виде шарнирно закрепленного на стойке стержня с грузом на его конце, а второй маятник - в виде груза, шарнирно установленного на конце стержня первого маятника, а также фиксаторы начальных положений маятников относительно стойки и стержня (см. Авторское свидетельство СССР №1273976, кл. G09B 23/08, 1985 г.).

15 Недостатки этого устройства заключаются в следующем.

В известном устройстве сложно установить маятники в начальных положениях с точностью, достаточной, чтобы обеспечить колебания системы с главными частотами, и практически невозможно одновременное освобождение обоих маятников из начальных положений, так как невозможно одновременное пережигание двух пережигаемых нитей

20 фиксаторов. Эти недостатки существенно затрудняют проведение исследований колебаний системы с двумя степенями свободы. Кроме того, в известном устройстве не обеспечивается достаточная точность регистрации колебаний, поскольку она осуществляется либо визуально, либо с помощью киносъемки маятников. Все это существенно снижает информативность исследований.

25 Раскрытие полезной модели

Задачей полезной модели является существенное улучшение эксплуатационных характеристик устройства для исследования свободных колебаний механической системы с двумя степенями свободы, т.е. повышение информативности исследований путем повышения точности установки маятников в начальных положениях и

30 обеспечения одновременности их освобождения из этих положений. А также за счет обеспечения регистрации отклонений маятников от положений равновесия посредством датчиков и обработки этих данных с помощью блока записи и обработки сигналов датчиков.

Задача данной полезной модели достигается тем, известное устройство для

35 демонстрации и исследования свободных колебаний механической системы с двумя степенями свободы, содержащее основание, закрепленную на основании вертикальную стойку и установленные на стойке два физических маятника, один из которых выполнен в виде шарнирно закрепленного на стойке стержня с грузом на его конце, а второй маятник - в виде груза, шарнирно установленного на конце стержня первого маятника,

40 а также фиксаторы начальных положений маятников относительно стойки и стержня, согласно полезной модели снабжено вертикальной панелью, установленной на основании между стойкой и маятниками параллельно плоскости колебаний маятников, а также датчиками углов отклонения маятников от положения равновесия, блоком питания и управления и блоком обработки сигналов датчиков, при этом шарнирное

45 соединение второго маятника с первым выполнено в виде дополнительного стержня, на конце которого закреплен груз второго маятника, а фиксаторы начальных положений маятников относительно стойки выполнены в виде закрепленных на панели электромагнитов с сердечниками, выступающими за лицевую поверхность панели, и

соответствующих сердечникам отверстий в грузах маятников, причем положения фиксаторов на панели соответствуют начальным отклонениям маятников при их колебаниях с главными частотами.

Датчики перемещений маятника выполнены в виде потенциометров, установленных

5 соосно шарнирам крепления стержней маятников.

В качестве блока записи и обработки сигналов датчиков применен персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем.

Перечень фигур

На фиг. 1 представлен общий вид устройства.

10 На фиг. 2 показан вид А по фиг. 1.

На фиг. 3 приведена схема начального положения системы при исследовании ее колебаний с первой главной частотой.

На фиг. 4 приведена схема начального положения системы при исследовании ее колебаний со второй главной частотой.

15 На фиг. 5 показана схема колебаний первой парциальной системы.

На фиг. 6 показана схема колебаний второй парциальной системы.

Осуществление полезной модели

Общий вид устройства приведен на фиг. 1 и 2 (здесь блок электропитания и блок записи и обработки сигналов датчиков показаны условно на фиг. 1 и не показаны на 20 фиг. 2). При этом на фиг. 1 маятники устройства показаны в одном из начальных положений.

Устройство содержит основание 1, на котором закреплена вертикальная стойка 2, на кронштейне 3 которой шарнирно установлен первый маятник, состоящий из стержня 4 и груза 5. На свободном конце стержня 4 шарнирно закреплен второй маятник,

25 включающий в себя дополнительный стержень 6 и груз 7. Соосно шарнирам стержней маятников установлены датчики 8 углов их отклонения от вертикали, а также шкалы 9 и указатели 10 визуального отсчета указанных углов. При этом в качестве датчиков применены потенциометры. Между стойкой 2 и маятниками на основании 1 закреплена панель 11, на которой установлены электромагниты 12, 13 и 14 с сердечниками 15

30 фиксации маятников в начальных положениях. Указанная фиксация маятников осуществляется путем взаимодействия сердечников электромагнитов с соответствующими отверстиями, выполненными в грузах 5 и 7. Кроме того, второй маятник снабжен фиксатором 16 положения его стержня 6 относительно груза 5 первого маятника, выполненным, например, в виде стопорного винта. Питание датчиков и

35 электромагнитов осуществляется от блока 17 питания и управления, а обработка сигналов датчиков производится с помощью блока 18 обработки этих сигналов, в качестве которого применен персональный компьютер.

На фиг. 1 показаны маятники в начальном фиксированном положении, когда сердечники 15 электромагнитов 12 и 14 введены в соответствующие отверстия грузов

40 5 и 7, и углы начальных отклонений маятников равны: α_{10} - угол отклонения первого маятника от вертикали и α_{20} - угол отклонения второго маятника от оси стержня 6 первого маятника.

Работает данное устройство следующим образом.

45 При произвольном задании начальных условий (начальных углов отклонения маятников от положения равновесия и их начальных угловых скоростей) свободные колебания каждого из маятников (в рамках теории линейных колебаний и при условии пренебрежения сопротивлением их движению) будут происходить с двумя главными частотами одновременно согласно уравнениям

$$\alpha_1(t) = A_1^{(1)} \sin(\omega_1 t + \psi_1) + A_1^{(2)} \sin(\omega_2 t + \psi_2),$$

$$\alpha_2(t) = A_2^{(1)} \sin(\omega_1 t + \psi_1) + A_2^{(2)} \sin(\omega_2 t + \psi_2),$$

5 где $\alpha_1(t)$ - угол отклонения первого маятника от вертикали,

$\alpha_2(t)$ - угол отклонения второго маятника от продольной оси первого маятника,

$A_1^{(1)}$ и $A_1^{(2)}$ - амплитуды колебаний первого маятника по первой и второй главным частотам,

10 $A_2^{(1)}$ и $A_2^{(2)}$ - амплитуды колебаний второго маятника по первой и второй главным частотам,

ω_1 и ω_2 - первая и вторая главные частоты колебаний,

ψ_1 и ψ_2 - начальные фазы колебаний по первой и второй главным частотам.

15 Амплитуды колебаний маятников по каждой из главных частот связаны между собой соотношениями, называемыми коэффициентами форм или коэффициентами распределения амплитуд колебаний

$$\eta_1 = \frac{A_2^{(1)}}{A_1^{(1)}} \text{ и } \eta_2 = \frac{A_2^{(2)}}{A_1^{(2)}}.$$

20 Значения этих коэффициентов определяются физическими параметрами маятников: массами их элементов (грузов и стержней) и их расположением относительно осей колебаний.

25 С учетом коэффициентов форм уравнение колебаний второго маятника примет вид

$$\alpha_2(t) = \eta_1 A_1^{(1)} \sin(\omega_1 t + \psi_1) + \eta_2 A_1^{(2)} \sin(\omega_2 t + \psi_2).$$

30 В общем случае такие колебания маятников с двумя частотами одновременно будут негармоническими. Однако главные колебания представляют собой гармонические колебания, которые могут совершаться у обоих маятников одновременно с одинаковой частотой - либо с первой, либо со второй главной частотой. Главные колебания можно получить в механической системе при специальном подборе начальных условий.

35 В данном устройстве для осуществления главных колебаний маятники с помощью сердечников электромагнитов 12, 13 и 14 (см. фиг. 1, 2) устанавливаются на панели 11 при отклонении от положения равновесия на начальные углы α_{10} и α_{20} , и затем

40 освобождаются из этих положений без начальных скоростей. При этом необходимые значения начальных углов отклонения маятников определяются следующим образом.

Продифференцировав по времени приведенные выше уравнения движения маятников, получим уравнения их угловых скоростей

$$40 \dot{\alpha}_1(t) = A_1^{(1)} \omega_1 \cos(\omega_1 t + \psi_1) + A_1^{(2)} \omega_2 \cos(\omega_2 t + \psi_2),$$

$$\dot{\alpha}_2(t) = A_1^{(1)} \eta_1 \omega_1 \cos(\omega_1 t + \psi_1) + A_1^{(2)} \eta_2 \omega_2 \cos(\omega_2 t + \psi_2).$$

Подставив в уравнения движения и уравнения угловых скоростей маятников начальные условия

45 $t=0, \alpha_1=\alpha_{10}, \alpha_2=\alpha_{20}, \dot{\alpha}_1=\dot{\alpha}_{10}, \dot{\alpha}_2=\dot{\alpha}_{20},$

получим систему алгебраических уравнений

$$\alpha_{10} = A_1^{(1)} \sin \psi_1 + A_1^{(2)} \sin \psi_2,$$

$$\alpha_{20} = \eta_1 A_1^{(1)} \sin \psi_1 + \eta_2 A_1^{(2)} \sin \psi_2,$$

$$0 = A_1^{(1)} \omega_1 \cos \psi_1 + A_1^{(2)} \omega_2 \cos \psi_2,$$

$$5 \quad 0 = A_1^{(1)} \eta_1 \omega_1 \cos \psi_1 + A_1^{(2)} \eta_2 \omega_2 \cos \psi_2.$$

Из этих уравнений находим

$$\cos \psi_1 = \cos \psi_2 = 0, \quad \psi_1 = \psi_2 = \frac{\pi}{2},$$

$$10 \quad \alpha_{10} = A_1^{(1)} + A_1^{(2)}, \quad \alpha_{20} = A_1^{(1)} \eta_1 + A_1^{(2)} \eta_2.$$

Положив в последних уравнениях $A_1^{(2)} = 0$, т.е. приняв, что у обоих маятников происходят колебания с первой главной частотой, находим необходимое для этого соотношение между начальными углами отклонения маятников

$$15 \quad \alpha_{20}^{(1)} = \eta_1 \alpha_{10}^{(1)}.$$

Аналогично, положив $A_1^{(1)} = 0$, найдем соотношение между начальными углами отклонения маятников при их колебаниях со второй главной частотой

$$20 \quad \alpha_{20}^{(2)} = \eta_2 \alpha_{10}^{(2)}.$$

При приведенном выше задании начальных условий уравнения колебаний маятников принимают вид

- первое колебание

$$25 \quad \alpha_1^{(1)}(t) = \alpha_{10}^{(1)} \cos \omega_1 t, \quad \alpha_2^{(1)}(t) = \alpha_{20}^{(1)} \cos \omega_1 t;$$

- второе колебание

$$\alpha_1^{(2)}(t) = \alpha_{10}^{(2)} \cos \omega_2 t, \quad \alpha_2^{(2)}(t) = \alpha_{20}^{(2)} \cos \omega_2 t.$$

Осуществляются главные колебания в данном устройстве следующим образом.

При проведении исследований колебаний механической системы с первой главной частотой сначала груз 5 (см. фиг. 1, 2) первого маятника фиксируется относительно панели 11 сердечником 15 электромагнита 12, а груз 7 второго маятника аналогичным образом фиксируется с помощью электромагнита 13. При этом электромагниты 12 и 13 обесточены, а к электромагниту 14 от блока 16 подводится электрическое напряжение и его сердечник находится в утопленном положении относительно лицевой поверхности панели 11. Схема расположения маятников в этом начальном положении показана на фиг. 3 (нумерация позиций здесь соответствует нумерации на фиг. 1 и 2). Точки O, O₁, O₂ в данном случае закреплены на панели 11 (панель 11 на фиг. 3 условно не показана).

40 Затем от блока 16 одновременно подается напряжение на обмотки электромагнитов 12 и 13, и их сердечники выводятся из отверстий грузов, в результате чего точки O₁ и O₂ освобождаются от фиксации относительно панели 11, и оба маятника начинают колебания с одной и той же первой главной частотой ω_1 и одинаковой фазой.

45 При проведении исследований колебаний механической системы со второй главной частотой сначала груз 5 (см. фиг. 1, 2) первого маятника фиксируются относительно панели 11 сердечником 15 электромагнита 12, а груз 7 второго маятника аналогичным образом фиксируется с помощью электромагнита 14. При этом электромагниты 12 и 14 обесточены, а к электромагниту 13 от блока 16 подводится электрическое напряжение,

и его сердечник находится в утопленном положении относительно лицевой поверхности панели 11. Такое начальное положение маятников показано на фиг. 1, а также на схеме фиг. 3 (нумерация позиций здесь соответствует нумерации на фиг. 1 и 2), где точки O_1 O_2 закреплены на панели 11.

⁵ Затем от блока 16 одновременно подается напряжение на обмотки электромагнитов 12 и 14, в результате чего точки O_1 и O_2 освобождаются от фиксации и оба маятника начинают колебания с одной и той же второй главной частотой ω_2 , но в противофазе.

¹⁰ В данном устройстве предусмотрено также изучение колебаний парциальных систем данной механической системы.

¹⁵ При исследовании первой парциальной системы стержень 6 второго маятника посредством фиксатора 16 жестко соединяется с грузом 5 первого маятника, образуя первую парциальную систему, а сам этот груз фиксируется относительно панели 11 с помощью сердечника обесточенного электромагнита 12. При этом на обмотки электромагнитов 13 и 14 подается напряжение, и их сердечники 15 остаются в утопленном по отношению к лицевой поверхности панели 11 положении. Затем на ²⁰ электромагнит 12 подается напряжение, его сердечник освобождает груз 5 и оба маятника как единое целое приходят в колебательное движение с первой парциальной частотой. Схема этого колебания системы показана на фиг. 5, а его уравнение в случае пренебрежения сопротивлением будет иметь вид

$$\alpha_1(t) = \alpha_{10} \cos n_1 t,$$

где n_1 - первая парциальная частота.

²⁵ Для реализации второй парциальной системы сначала грузы 5 и 7 маятников фиксируются относительно панели 11 с помощью сердечников обесточенных электромагнитов 12 и 14, при этом электропитание подается на электромагнит 13 и его ³⁰ сердечник находится в утопленном положении. Затем подается напряжение на электромагнит 14, его сердечник освобождает груз 7 и второй маятник приходит в колебательное движение относительно неподвижной точки O_1 со второй парциальной частотой. Схема этого движения показана на фиг. 6, а его уравнение будет иметь вид

$$\alpha_2(t) = \alpha_{20} \cos n_2 t,$$

где n_2 - вторая парциальная частота.

³⁵ При любом задании начальных условий, отличающемся от описанных выше условий для главных и парциальных колебаний, колебания каждого из маятников устройства будут происходить одновременно с двумя главными частотами. При этом возможны различные их сочетания и движения маятников будут не гармоническими и в общем случае непериодическими.

⁴⁰ В процессе колебаний на датчики 8 подается напряжение питания от блока 17, а их выходные сигналы поступают на аналого-цифровой преобразователь блока 18 (ПЭВМ), обрабатываются с помощью соответствующего программного обеспечения и выводятся на экран дисплея ПЭВМ или печатаются на принтере в виде графиков колебательных процессов.

⁴⁵ По полученным таким путем графикам проводится сравнение колебаний системы с главными и парциальными частотами, определяются амплитуды и периоды колебаний и соотношения между этими характеристиками, а также выполняется сравнение экспериментальных данных с расчетными параметрами данной установки. Это означает, что данная установка позволяет подробно и с высокой степенью точности исследовать основные параметры колебательных процессов механической системы с двумя степенями

свободы.

Таким образом, данная полезная модель позволяет существенно расширить эксплуатационные характеристики устройства для демонстрации и исследования свободных колебаний механической системы с двумя степенями свободы, а также 5 повысить точность и информативность исследований по сравнению с известным устройством.

(57) Формула полезной модели

1. Устройство для демонстрации и исследования свободных колебаний механической

10 системы с двумя степенями свободы, содержащее основание, закрепленную на основании вертикальную стойку и установленные на стойке два физических маятника, один из которых выполнен в виде шарнирно закрепленного на стойке стержня с грузом на его конце, а второй маятник - в виде груза, шарнирно установленного на конце стержня первого маятника, а также фиксаторы начальных положений маятников относительно 15 стойки и стержня, отличающееся тем, что оно снабжено вертикальной панелью, установленной на основании между стойкой и маятниками параллельно плоскости колебаний маятников, а также датчиками углов отклонения маятников от положения равновесия, блоком питания и управления и блоком обработки сигналов датчиков, при этом шарнирное соединение второго маятника с первым выполнено в виде 20 дополнительного стержня, на конце которого закреплен груз второго маятника, а фиксаторы начальных положений маятников относительно стойки выполнены в виде закрепленных на панели электромагнитов с сердечниками, выступающими за лицевую поверхность панели, и соответствующих сердечникам отверстий в грузах маятников, причем положения фиксаторов на панели соответствуют начальным отклонениям 25 маятников при их колебаниях с главными частотами.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что датчики перемещений маятника выполнены в виде потенциометров, установленных соосно шарнирам крепления стержней маятников.

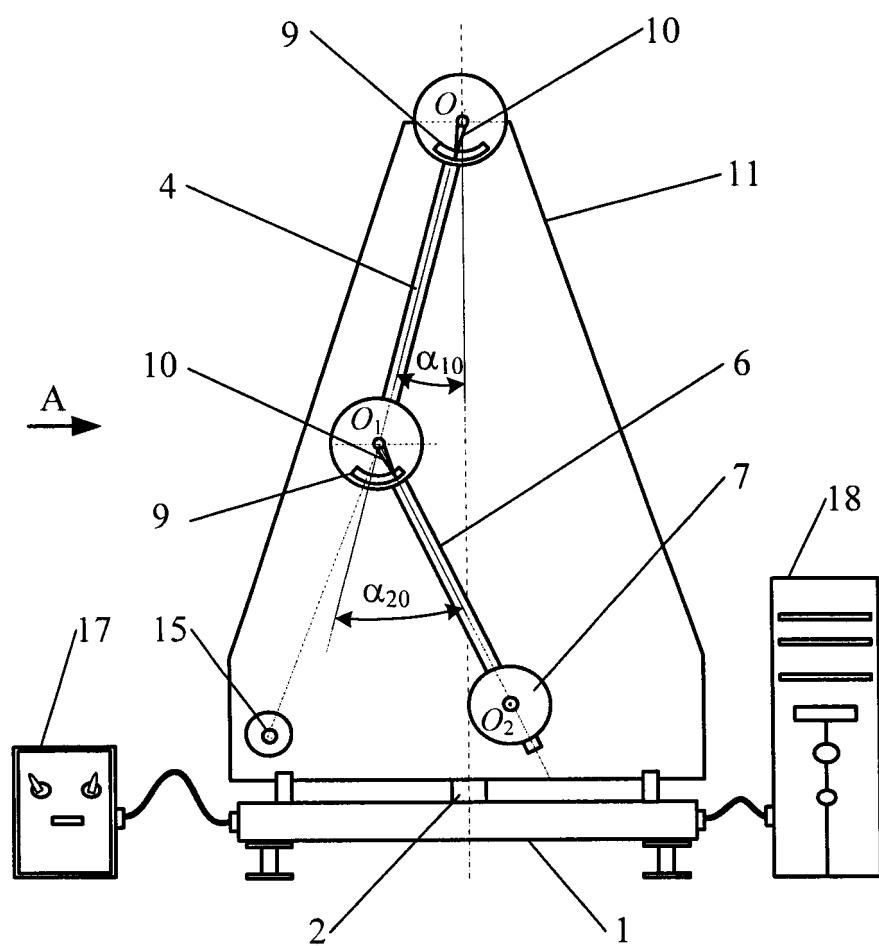
3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что в качестве блока записи и обработки 30 сигналов датчиков применен персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем.

35

40

45

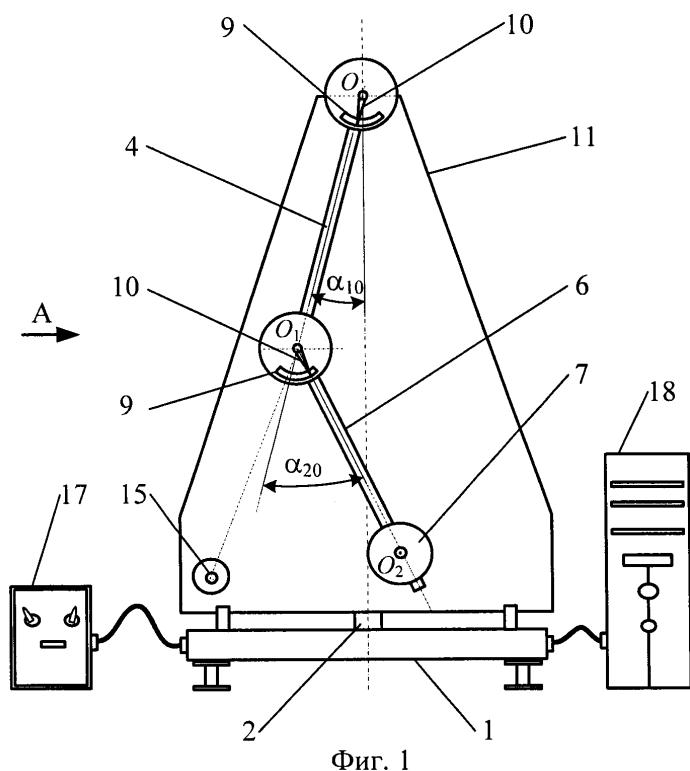
1



Фиг. 1

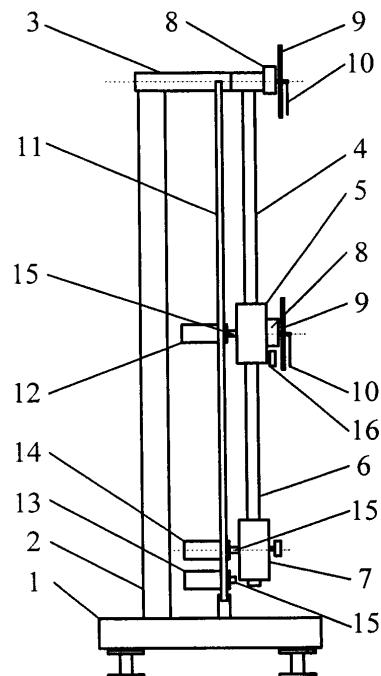
2

«Устройство для демонстрации и исследования
свободных колебаний механической системы с двумя степенями свободы»

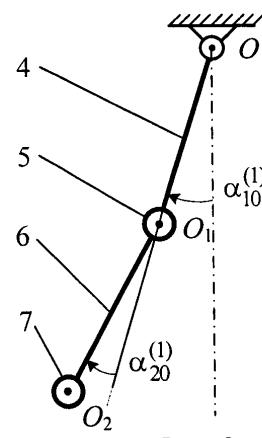


Фиг. 1

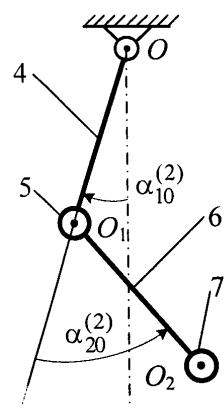
Вид А по фиг. 1



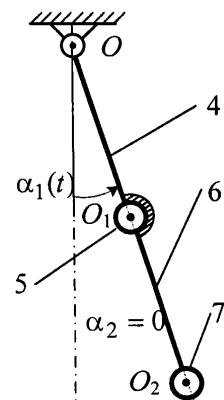
Фиг. 2



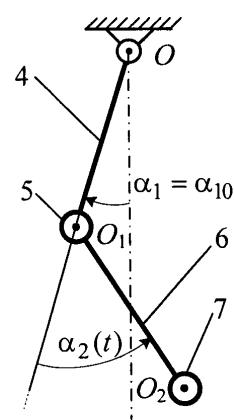
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6