



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G09B 23/10 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017146806, 28.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.12.2017

Дата регистрации:  
17.09.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.12.2017

(45) Опубликовано: 17.09.2018 Бюл. № 26

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)

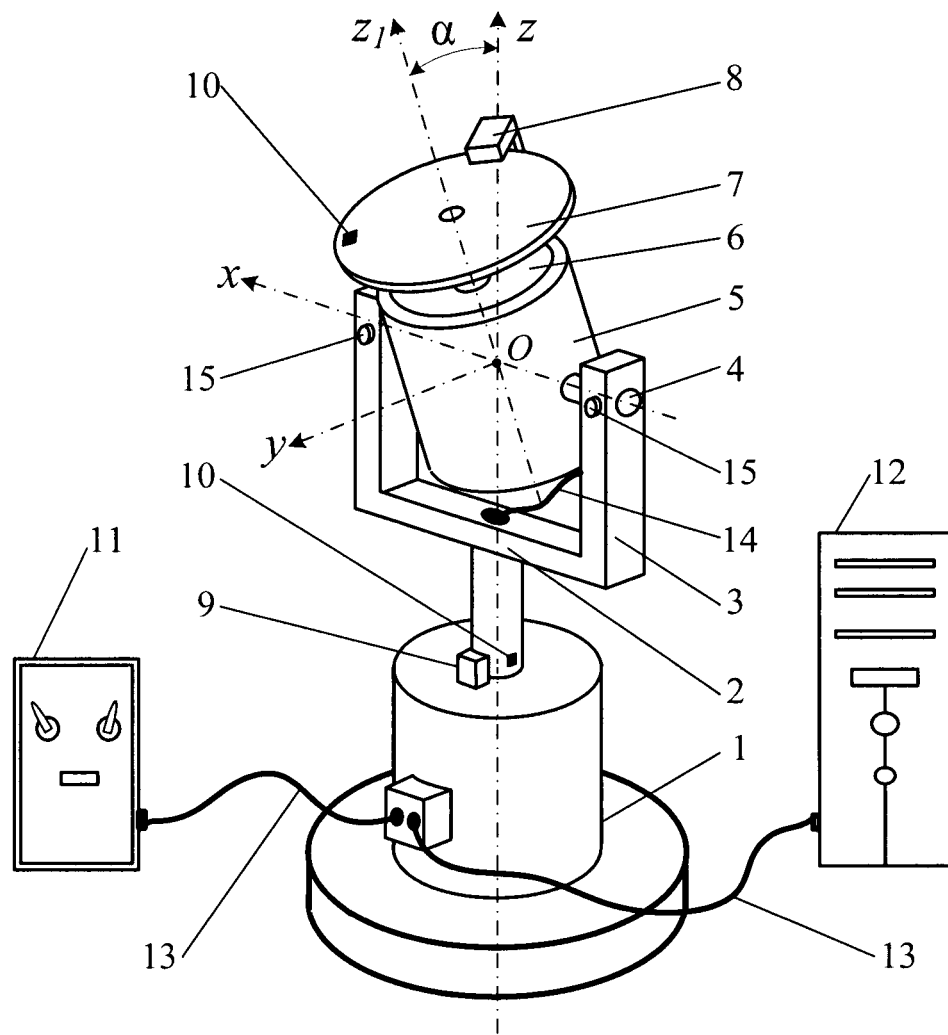
(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: CN 103943005 A, 23.07.2014. CN  
103050036 A, 17.04.2013. CN 102938226 A,  
20.02.2013. CN 104952315 A, 30.09.2015. CN  
106327967 A, 11.01.2017. CN 202352186 U,  
25.07.2012. CN 107123344 A, 01.09.2017. CN  
205827735 U, 21.12.2016.

(54) Устройство для исследования закона сохранения кинетического момента механической системы

(57) Реферат:

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике и представляет собой устройство для исследования закона сохранения кинетического момента механической системы. Она содержит основание, установленную в основании с возможностью вращения вокруг вертикальной оси симметричную рамку с вертикальными стойками. В стойках на горизонтальных полуосях закреплен механизм создания кинетического момента, включающий в себя электродвигатель, на выходном валу ротора которого закреплен диск. Устройство

снабжено фиксаторами углового положения механизма и соответственно диска с ротором относительно рамки, датчиками угловых скоростей вращения диска с ротором и рамки относительно их осей симметрии, блоком питания датчиков и электродвигателя, а также блоком обработки сигналов датчиков. При этом в качестве датчиков угловых скоростей применены индуктивные датчики, а в качестве блока регистрации и обработки сигналов датчиков применен персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг.1

## Область техники

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике и может быть использована в высших технических учебных заведениях при изучении общих теорем механики и, в частности, закона сохранения кинетического момента (главного момента количеств движения) механической системы.

## Уровень техники

Известно устройство для исследования закона сохранения кинетического момента механической системы, содержащее основание, установленную в основании с возможностью вращения вокруг вертикальной оси симметричную рамку с вертикальными стойками, и механизм создания кинетического момента, включающий в себя тело вращения, установленное в корпусе, который посредством горизонтальных полуосей шарнирно закреплен в вертикальных стойках рамки (см. Патент РФ №2017228, кл. G09B 23/06, 1991 г.).

Недостатки этого устройства заключаются в следующем.

В указанном устройстве выполнение закона сохранения кинетического момента лишь демонстрируется визуально. В нем не производятся измерения угловых скоростей тела вращения и рамки, т.е. не обеспечивается количественное определение их кинетических моментов и соответственно суммарного кинетического момента всей системы. Это не позволяет экспериментально определять величину указанного момента и его перераспределение между телом вращения и рамкой, в том числе в зависимости от углового положения продольной оси тела относительно оси вращения рамки. По этим причинам в данном устройстве не обеспечивается достаточная информативность, надежность и точность исследования закона сохранения кинетического момента механической системы, что существенно сужает учебные и исследовательские возможности этого устройства.

## Раскрытие полезной модели

Задачей полезной модели является существенное повышение информативности и точности исследования закона сохранения кинетического момента механической системы путем контролируемого регулирования в широком диапазоне углового положения тела вращения относительно вертикали и его угловой скорости и тем самым величины и направления вектора кинетического момента. А также за счет обеспечения регистрации угловых скоростей тела вращения и рамки посредством датчиков и обработки этих данных с помощью блока регистрации и обработки сигналов датчиков.

Задача данной полезной модели достигается тем, что устройство для исследования закона сохранения кинетического момента механической системы снабжено электродвигателем, статор которого закреплен в корпусе механизма создания кинетического момента, а ротор электродвигателя применен в качестве тела вращения этого механизма, датчиками угловых скоростей ротора и рамки относительно их осей симметрии, блоком питания датчиков и электродвигателя, а также блоком регистрации и обработки сигналов датчиков, при этом полуоси корпуса механизма снабжены фиксаторами углового положения корпуса и соответственно оси вращения ротора относительно вертикали. Кроме того, на валу ротора, соосно ему, закреплен массивный диск, а в качестве датчиков угловых скоростей рамки и ротора применены индуктивные датчики с постоянными магнитами, закрепленными на рамке и диске соответственно, причем в качестве блока регистрации и обработки сигналов датчиков применен персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем.

## Перечень фигур

На фиг. 1 представлен общий вид устройства.

На фиг. 2 показана схема осей координат, угловых скоростей и сил, действующих на устройство.

Осуществление полезной модели

Общий вид устройства приведен на фиг. 1 (здесь блок электропитания и блок записи и обработки сигналов датчиков показаны условно).

Устройство содержит основание 1, в котором с возможностью вращения вокруг вертикальной оси  $z$  закреплена симметричная рамка 2 с вертикальными стойками 3. В стойках рамки шарнирно посредством полуосей 4 установлен корпус 5 механизма создания кинетического момента, включающий в себя электродвигатель 6, статор которого закреплен в корпусе механизма, а ротор с закрепленным на нем диском 7 применен в качестве тела вращения этого механизма. Устройство снабжено датчиками 8 и 9 угловых скоростей соответственно ротора и рамки, например индуктивными датчиками с постоянными магнитами 10, закрепленными на диске и рамке, а также блоком 11 питания датчиков и электродвигателя и блоком 12 обработки сигналов датчиков. При этом, в качестве последнего применен персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем. Блоки 11 и 12 соединены кабелями 13 с основанием 1, в котором размещены кольцевые токосъемники (на рис. 1 не показаны) для подвода посредством кабеля 14 напряжения питания к электродвигателю и передачи сигналов датчика 8, которые расположены на вращающейся рамке. Устройство снабжено также фиксаторами 15 полуосей 4, обеспечивающими закрепление корпуса 5 механизма создания кинетического момента при различных значениях угла  $\alpha$  между осью  $z_1$  вращения ротора электродвигателя с диском 7 и осью  $z$  вращения рамки 2 (здесь подвижная система координат  $Ox_1y_1z_1$  связана с рамкой).

Работает данное устройство следующим образом.

Вначале посредством фиксаторов 15 закрепляют в стойках 3 механизм создания кинетического момента при выбранном значении угла  $\alpha$  между осями  $z_1$  и  $z$  в диапазоне от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  (см. фиг. 2, где приведена схема устройства при наблюдении навстречу оси  $Ox$  по фиг. 1). Затем подают питание на электродвигатель 6 и после разгона его ротора регистрируют угловые скорости вращения диска 7 и рамки 2. В данном случае вращательные движения указанных звеньев устройства начинаются из состояния покоя, когда вектор кинетического момента  $\bar{K}_O$  всей системы относительно любой точки, в том числе и точки  $O$ , равен нулю т.е.

$$\bar{K}_O = \bar{K}_O^{(д)} + \bar{K}_O^{(дв)} + \bar{K}_O^{(р)} = 0,$$

где  $\bar{K}_O^{(д)}$ ,  $\bar{K}_O^{(дв)}$  и  $\bar{K}_O^{(р)}$  - векторы кинетических моментов диска 7 с ротором, корпуса 5 со статором электродвигателя 6 и рамки 2 соответственно.

Теорема об изменении кинетического момента  $\bar{K}_O$  механической системы относительно неподвижной точки  $O$  в векторной форме имеет вид

$$\frac{d\bar{K}_O}{dt} = \sum_{k=1}^N \bar{M}_O(\bar{F}_k^{(e)}),$$

где  $\sum_{k=1}^N \bar{M}_O(\bar{F}_k^{(e)})$  - сумма моментов внешних сил, приложенных к точкам

механической системы, относительно точки О.

Из этого равенства в проекции на какую-либо неподвижную ось, например Oz, получим теорему об изменении кинетического момента системы относительно этой оси

$$\frac{dK_z}{dt} = \sum_{k=1}^N M_z(\bar{F}_k^{(e)})$$

Если в течение некоторого промежутка времени  $\sum_{k=1}^N M_z(\bar{F}_k^{(e)})$  остается неизменной,

то в течение этого времени

$$K_z = \text{const.}$$

Последнее равенство выражает закон сохранения кинетического момента механической системы относительно оси Oz.

Поскольку в данном устройстве силы тяжести  $m_d \bar{g}$  и  $m_p \bar{g}$  (см. рис. 2)

составляющих его частей - диска с ротором и рамки параллельны вертикальной оси Oz, а реакции  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$  в опорах рамки А и В пересекают эту ось, то,

пренебрегая на некотором сравнительно малом интервале времени трением в опорах, имеем для этого интервала

$$\sum_{k=1}^N M_z(\bar{F}_k^{(e)}) = 0$$

и так как в начальный момент времени все тела неподвижны, то соответственно  $K_z = \text{const} = 0$ .

Для данного устройства величина  $K_z$  равна сумме кинетических моментов диска с ротором, корпуса со статором электродвигателя и вилки

$$K_z = K_z^{(д)} + K_z^{(дв)} + K_z^{(в)}.$$

После включения питания электродвигателя его ротор с диском 7 приобретает угловую скорость вращения относительно статора двигателя - относительную угловую скорость  $\bar{\omega}_r$  и, соответственно, кинетический момент относительного движения

$$K_{z_1}^{(д)} = J_{z_1}^{(д)} \omega_r$$

Проекция этого кинетического момента на ось Oz равна

$$K_{z_1}^{(д)} = J_{z_1}^{(д)} \omega_r \cos \alpha.$$

При этом, рамка, корпус с двигателем и диск с ротором начинают вращаться вокруг оси Oz с угловой скоростью  $\bar{\omega}_e$ . Эта угловая скорость является переносной угловой скоростью для диска. Ось вращения Oz<sub>1</sub> пересекается с осью Oz в точке О и диск с

ротором совершает сферическое движение. Его абсолютная угловая скорость равна

$$\overline{\omega}_d = \overline{\omega}_r + \overline{\omega}_e,$$

а абсолютные угловые скорости рамки и корпуса с двигателем равны  $\overline{\omega}_e$ , т.е.

$$\overline{\omega}_{дв} = \overline{\omega}_p = \overline{\omega}_e.$$

С учетом изложенного, для кинетического момента данной механической системы относительно оси Oz имеем уравнение

$$K_z = (J_z^{(д)} + J_z^{(дв)} + J_z^{(р)})\omega_e + J_{z_1}^{(д)}\omega_r \cos \alpha = 0,$$

где  $J_z^{(д)}$ ,  $J_z^{(дв)}$  и  $J_z^{(р)}$  - моменты инерции диска с ротором, корпуса с

электродвигателем и рамки относительно оси Oz, которые определяются либо расчетным путем, либо экспериментально, причем значения определяются при различных значениях угла  $\alpha$  в диапазоне от  $0^\circ$  до  $90^\circ$

Из последнего уравнения имеем расчетную формулу для угловой скорости рамки в зависимости от угловой скорости вращения ротора электродвигателя

$$\omega_e = \frac{J_{z_1}^{(д)} \cos \alpha}{J_z^{(д)} + J_z^{(дв)} + J_z^{(р)}} \omega_r.$$

Здесь следует отметить, что полученная зависимость является линейной. Направление вращения рамки противоположно направлению вращения диска с ротором, причем при любом значении  $\omega_r$  при  $\alpha=90^\circ$  угловая скорость рамки будет равна нулю.

При проведении экспериментов по показаниям датчиков 8 и 9 угловых скоростей строятся экспериментальные зависимости  $\omega_e$  от  $\omega_r$  подтверждающие закон сохранения кинетического момента механической системы, которые сопоставляются с расчетными графиками.

Другой вариант проведения экспериментальных исследований закона сохранения кинетического момента в данной установке заключается в следующем.

Если после включения электродвигателя и достижения установившегося вращательного движения звеньев устройства переключить питание двигателя с изменением направления вращения его ротора то, поскольку момент внешних сил относительно оси Oz остается в этом случае равным нулю и, следовательно, выполняется закон сохранения кинетического момента системы, то рамка начнет вращаться в направлении, противоположном новому направлению вращения ротора, т.е. в направлении его первоначального вращения. При этом соотношение между значениями угловых скоростей  $\omega_e$  и  $\omega_r$  останется прежним.

Таким образом, данная полезная модель позволяет существенно повысить информативность и точность исследования закона сохранения кинетического момента механической системы по сравнению с известным устройством, так как обеспечивает регулирование в широком диапазоне угловых скоростей вращения звеньев системы как по величине, так и по направлению, а также за счет обеспечения регистрации этих скоростей посредством датчиков и количественного сравнения результатов экспериментов с теоретическими расчетами.

## (57) Формула полезной модели

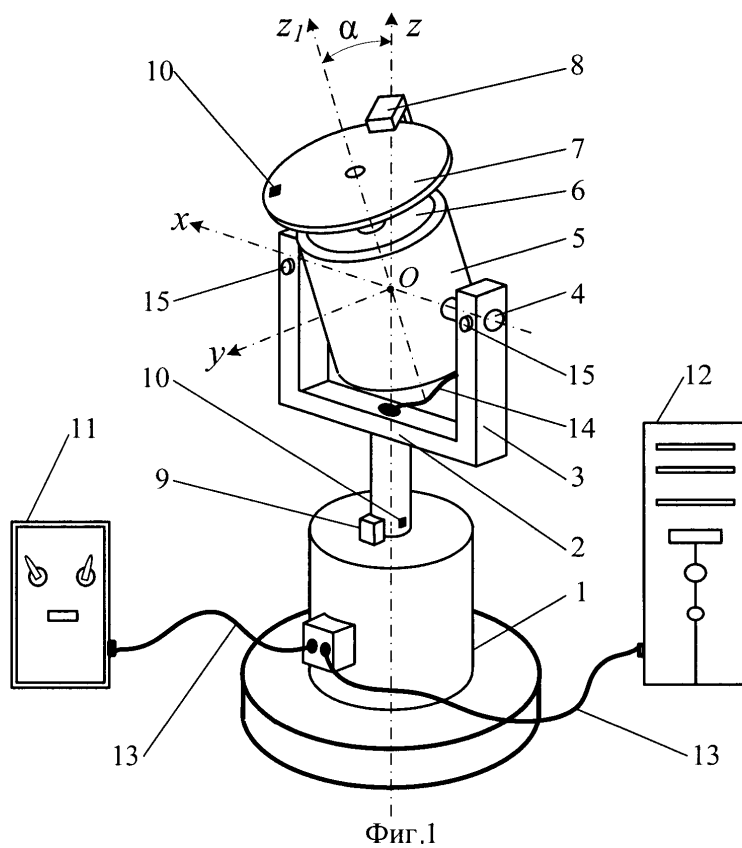
1. Устройство для исследования закона сохранения кинетического момента механической системы, содержащее основание, установленную в основании с  
5 возможностью вращения вокруг вертикальной оси симметричную рамку с вертикальными стойками и механизм создания кинетического момента, включающий в себя тело вращения, установленное в корпусе, который посредством горизонтальных полуосей шарнирно закреплен в вертикальных стойках рамки, отличающееся тем, что оно снабжено электродвигателем, статор которого закреплен в корпусе механизма  
10 создания кинетического момента, а ротор электродвигателя применен в качестве тела вращения этого механизма, датчиками угловых скоростей ротора и рамки относительно их осей симметрии, блоком питания датчиков и электродвигателя, а также блоком регистрации и обработки сигналов датчиков, при этом полуоси корпуса механизма снабжены фиксаторами углового положения корпуса и соответственно оси вращения  
15 ротора относительно вертикали.

2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что на валу ротора, соосно ему, закреплен массивный диск, а в качестве датчиков угловых скоростей рамки и ротора применены индуктивные датчики с постоянными магнитами, закрепленными на рамке и диске  
соответственно.

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

1

«Устройство для исследования  
закона сохранения кинетического момента механической системы»

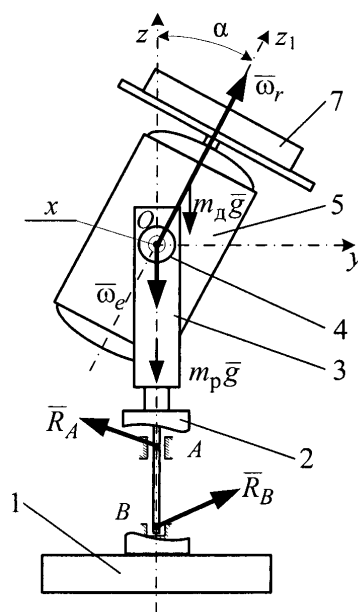


9

2



«Устройство для исследования  
закона сохранения кинетического момента механической системы»



Фиг.2