



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G09B 23/06 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019125048, 07.08.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
07.08.2019

Дата регистрации:  
21.10.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.08.2019

(45) Опубликовано: 21.10.2019 Бюл. № 30

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: RU 130114 U1, 10.07.2013. RU 2314571  
C2, 10.01.2008. RU 13111 U1, 20.03.2000.

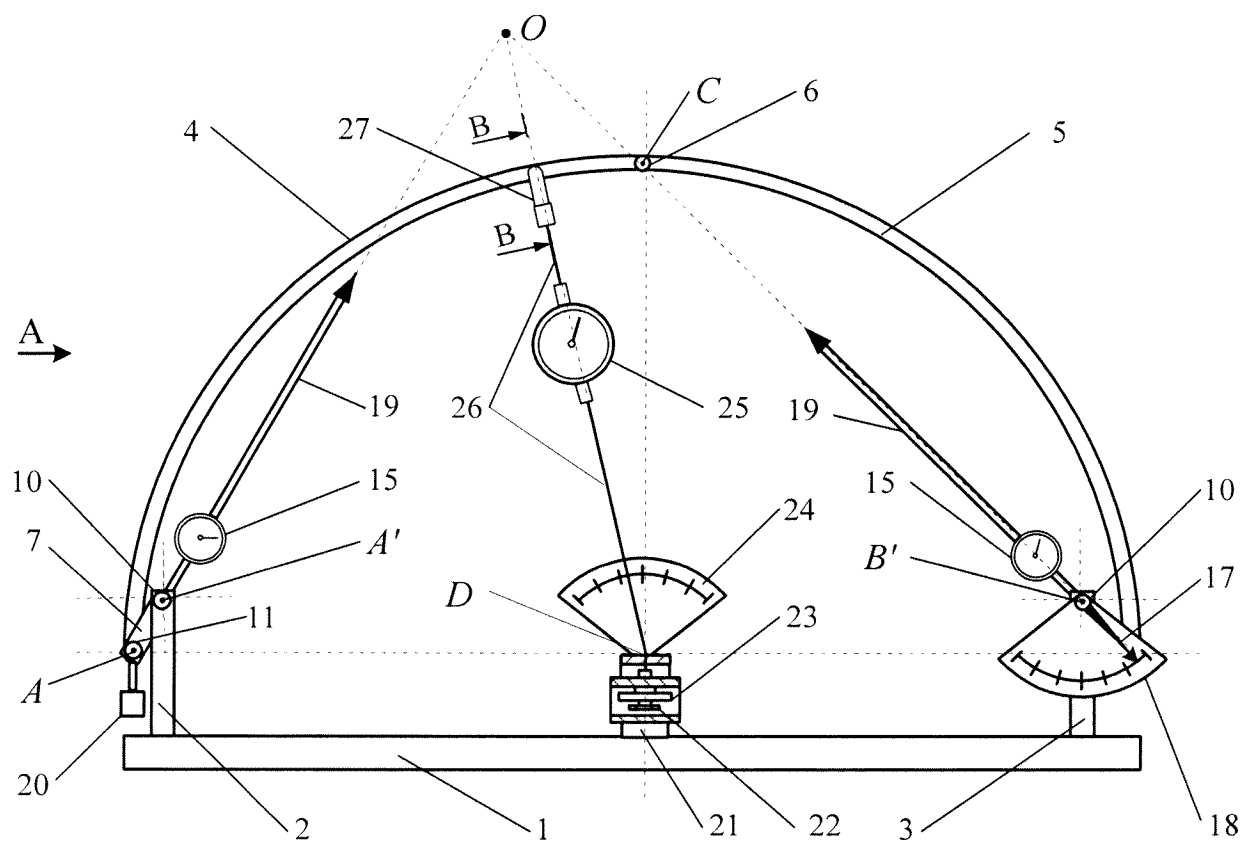
(54) Устройство для исследования условий равновесия тел под действием сил

(57) Реферат:

Полезная модель относится к учебно-исследовательскому оборудованию по теоретической механике для исследования равновесия тел под действием сил и содержит модель твердого тела в виде балки, состоящей из двух одинаковых изогнутых по дуге окружности и шарнирно сочлененных между собой частей и механизмы создания и измерения сил. Балка установлена на опорах основания с помощью кривошипов в виде втулки с установленными в ней штоком и пружиной. Механизм создания внешней силы выполнен в виде пружинного

динамометра, соединенного с закрепленным на основании натяжным винтом и установленным на балке фиксатором точки приложения силы, а механизмы измерения реакций опор выполнены в виде закрепленных на кривошипах стрелочных индикаторов, подпружиненных относительно штоков кривошипов. Кроме того, модель снабжена грузами уравнивания частей балки, а также указателями направлений сил в виде установленных на кривошипах стержней и стрелок и закрепленных на основании шкал.

2 з.п. ф-лы, 6 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 условий равновесия тел под действием сил и, в частности,

5 аксиом и теорем статики.

## Уровень техники

Известно устройство для исследования условий равновесия тел под действием сил, содержащее модель твердого тела в виде балки, закрепленной с помощью опор на неподвижном основании, и механизмы создания и измерения действующих на балку

10 внешних сил и реакций опор, включающие в себя пружинные динамометры и нерастяжимые нити (см. Авторское свидетельство СССР №248354, кл. G09b, 1967 г.).

Недостатки этого устройства заключаются в следующем.

В указанном устройстве заданное положение балки на основании фиксируется путем перестановки на нем опор, а механизм создания действующих на балку сил представляет

15 собой громоздкую конструкцию, включающую в себя набор блоков и грузов, соединяемых с балкой нерастяжимыми нитями - тросами. При этом для измерения углов приложенных сил и реакций опор по отношению к балке в данном устройстве не предусмотрено соответствующих средств, что требует при проведении исследований применения дополнительных измерительных приспособлений. Все это существенно

20 затрудняет создание и измерение действующей на балку системы сил и соответствующих реакций опор. По этим причинам в данном устройстве не обеспечивается достаточная информативность, надежность и точность исследования условий равновесия тел под действием сил.

## Раскрытие полезной модели

Задачей полезной модели является существенное повышение информативности и точности исследования равновесия тел под действием сил путем обеспечения фиксированного положения опор балки на основании и более точных регулирования

и измерения величин и направлений действующих на балку сил.

Задача данной полезной модели достигается тем, что балка выполнена в виде двух

30 одинаковых изогнутых по дуге окружности частей, шарнирно соединенных между собой и подвижно закрепленных на опорах посредством кривошипов, каждый из которых шарнирно сочленен с соответствующими концом балки и опорой и выполнен в виде втулки с установленным в ней штоком и пружины, закрепленной между втулкой и штоком. Механизм создания действующей на балку внешней силы выполнен в виде

35 кронштейна с натяжным винтом, закрепленного на основании посередине между опорами балки, фиксатора точки приложения силы, установленного на балке с возможностью перемещения по ней, и пружинного динамометра, соединенного с натяжным винтом и с фиксатором посредством нерастяжимых нитей, а механизмы измерения реакций опор выполнены в виде закрепленных на кривошипах стрелочных индикаторов,

40 подпружиненных относительно штоков кривошипов. При этом устройство снабжено грузами уравнивания частей балки, установленными на ее концах, а также указателями направлений сил в виде стержней и стрелок, установленных на кривошипах, и градуированных шкал, закрепленных на опорах и на кронштейне с натяжным винтом. Кроме того, в балке выполнены продольные боковые пазы, а фиксатор точки

45 приложения внешней силы выполнен в виде скобы, установленной в пазах балки.

## Перечень фигур

На фиг. 1 представлен общий вид устройства.

На фиг. 2 показан вид А по фиг. 1.

На фиг. 3 дано сечение Б-Б по фиг. 2 (увеличено).

На фиг. 4 приведено сечение В-В по фиг. 1 (увеличено).

На фиг. 5 представлена схема измерения действующих сил при тарировке устройства.

На фиг. 6 представлена схема измерений при проведении исследований условий

5 равновесия тел под действием сил.

Осуществление полезной модели

Общий вид устройства приведен на фиг. 1 (здесь градуированная шкала и указательные стрелки направлений сил на одной из опор условно не показаны).

Устройство содержит жестко закрепленные на основании 1 опоры 2 и 3 и модель  
10 твердого тела в виде балки, состоящей из двух изогнутых по дуге окружности  
одинаковых частей 4 и 5, сочлененных между собой посредством цилиндрического  
шарнира 6 и установленных на опорах с помощью подвижных звеньев 7. Каждое из  
этих звеньев состоит из двух параллельно расположенных кривошипов 8 и 9 (см. рис.  
2), шарнирно установленных на опорах с помощью полуосей 10 и шарнирно  
15 соединенных с балкой посредством осей 11. При этом каждый из кривошипов выполнен  
в виде жестко закрепленной на полуоси 10 втулки 12 (см. фиг. 3) с установленными в  
ней штоком 13 и пружиной 14, которая закреплена между втулкой и штоком.

Для измерения величин реакций опор во втулке одного из кривошипов 9 каждой  
пары закреплен стрелочный индикатор 15, измерительный наконечник 16 которого  
20 подпружинен к штоку, а для определения направлений указанных реакций на полуосях  
10 установлены указательные стрелки 17 и на опорах закреплены градуированные  
шкалы 18. Кроме того, для наглядной демонстрации направлений реакций опор, на  
втулке другого кривошипа 8 каждой пары установлены стержни - стрелки 19. С целью  
уравновешивания моментов сил тяжести частей 4 и 5 балки, индикаторов 15 и стрелок  
25 19 относительно центров А' и В' полуосей 10, на осях 11 кривошипов шарнирно  
закреплены грузы 20.

Для создания внешней силы, действующей на балку, устройство снабжено  
механизмом (показанным на фиг. 1 условно в разрезе), который состоит из  
закрепленного на основании 1 кронштейна 21 с винтом 22 и гайкой 23, градуированной  
30 шкалы 24 и динамометрических весов 25. Весы посредством нерастяжимых нитей -  
тросов 26 соединены с винтом 22 и со скобой 27, установленной с возможностью  
перемещения в боковых пазах балки. Перемещением скобы в пазах балки изменяется  
направление действующей на балку силы, а ее величина регулируется натяжением нити  
с помощью винта 22 и измеряется с помощью весов 25.

35 Работает данное устройство следующим образом.

Сначала, перед проведением исследований по определению реакций в центрах А, А'  
и В, В' осей 10, 11 подвижных звеньев 7, следует выполнить регулировку устройства и  
тарировку пружин кронштейнов в соответствии со схемой, показанной на фиг. 5.

Необходимо установить скобу 27 по оси симметрии устройства (ось Dy) у шарнира  
40 6 (см фиг. 1) и, не нагружая ее силой  $\vec{F}$  натяжения нити 26, уравновесить с помощью  
противовесов 20 моменты сил веса индикаторов 15, стрелок 19, скобы 27 и частей 4 и  
5 балки таким образом, чтобы оси стрелок 19 и, следовательно, линии действия реакций  
 $\vec{R}_A$  и  $\vec{R}_B$  в точках А и В пересекались в центре С шарнира 6. При этом точки А, В и D  
45 (точка выхода нити 26 из кронштейна 21) должны располагаться на оси х, что должно  
повысить точность последующих исследований. После этого следует установить стрелки  
индикаторов в нулевые положения, исключив таким образом из учета деформации  
пружин и, следовательно, составляющие реакций в точках А и В, обусловленные

действием сил тяжести. Здесь необходимо отметить, что подвижные звенья 7, состоящие из кривошипов 8 и 9, представляют собой тела, находящиеся в равновесии под действием двух сил - реакций в точках А и А' (В и В'). Эти силы, согласно аксиоме статики о равновесии тела под действием двух сил, должны быть равны по величине и

- 5     противоположны по направлению, т.е., соответственно,  $\bar{R}_A = -\bar{R}_{A'}$  и  $\bar{R}_B = -\bar{R}_{B'}$  (на фиг. 5 эти силы в точках А, В, А' и В' условно не показаны). Кроме того, в этом случае каждая из частей 4 и 5 балки также будет находиться в равновесии под действием двух сил, и действующие на них реакции в точке С будут равны по величине и
- 10    противоположны по направлению соответственно силам  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$ .

- Затем, посредством винта 22 и гайки 23, следует постепенно увеличивать силу натяжения нити 26 и соответственно нагрузку на арку, регистрируя показания весов 25 и индикаторов 15. Показания индикаторов соответствуют перемещениям штоков 13 кривошипов 8 и 9, т.е. деформациям пружин кривошипов и, следовательно,
- 15    пропорциональны величинам реакций  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$ . На фиг. 5 приведен силовой замкнутый треугольник действующих на балку сил, построенный в соответствии с теоремой о равновесии тела под действием трех сил. Здесь углы  $\alpha$  и  $\beta$  наклона реакций  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$  относительно вертикали равны  $45^\circ$  и значения реакций связаны с величиной силы F соотношением:
- 20    соотношением:

$$R_A = R_B = F \sqrt{2}/2.$$

- Это соотношение позволяет по измеренным значениям силы  $\bar{F}$  определить величины
- 25    реакций  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$  и отметить (зарегистрировать) соответствующие показания индикаторов 15.

- Схема проведения исследования действующих на балку сил при различных по направлению и величине значениях приложенной к ней силы  $\bar{F}$  приведена на фиг. 6.
- 30    Здесь в качестве примера показано нагружение силой  $\bar{F}$  левой части 4 балки при положительном значении угла отклонения нити 26 от вертикали ( $\phi > 0$ ).

- Сначала нить 26 фиксируется по выбранному значению угла  $\phi$  ее направления по отношению к вертикали путем соответствующей установки скобы 27 в продольных пазах либо части 4, либо части 5 балки (см. фиг. 4). Затем посредством винта 22, гайки
- 35    23 и нити 26 механизма создания действующей на балку внешней силы  $\bar{F}$  по динамометру 25 устанавливается выбранное ее значение. При этом в шарнирах балки - точках А и В возникают силы реакций  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$ . Поскольку в этом случае вся балка
- 40    находится в равновесии под действием сил  $\bar{F}$ ,  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$ , то линии действия этих сил, согласно теореме статики о равновесии тела под действием трех сил, должны пересекаться в одной точке - точке О (см. фиг. 1, 6). Причем часть 5 балки в этом случае находится в равновесии под действием двух сил - реакций  $\bar{R}_B$  и  $\bar{R}_{C_5}$ , приложенных в
- 45    точках В и С, и, в соответствии с аксиомой статики о равновесии тела под действием двух сил, эти силы должны быть равны по модулю и противоположны по направлению, т.е.  $\bar{R}_B = -\bar{R}_{C_5}$ . Следовательно, и по этой причине линия действия реакции  $\bar{R}_B$  должна

проходить через точку О. Часть 4 балки находится в равновесии под действием трех сил  $\bar{F}$ ,  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_{C_4}$ , линии действия которых пересекаются в той же точке О. Причем в соответствии с аксиомой механики о силах взаимодействия материальных тел, здесь

силы  $\bar{R}_{C_4}$  и  $\bar{R}_{C_5}$  равны по величине и противоположны по направлению, т.е.

$$\bar{R}_{C_4} = -\bar{R}_{C_5}.$$

Направления сил  $\bar{F}$ ,  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$  определяются по положениям нити 26 и стрелок 17 относительно шкал 24 и 18, а их величины - по показаниям динамометра 25 и индикаторов 15 соответственно. При этом удлиненные стрелки 19 позволяют наглядно демонстрировать направления реакций  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$ , т.е. визуально подтверждать выполнение указанных выше аксиом и теоремы статики.

По измеренным угловым положениям кривошипов (углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ) и нити (угол  $\varphi$ ), а также силы натяжения нити  $\bar{F}$  выстраивается силовой замкнутый треугольник (см. фиг. 6), описываемый векторным уравнением:

$$\bar{F} + \bar{R}_A + \bar{R}_B = 0.$$

Согласно этому уравнению для проекций сил на оси  $x$  и  $y$  можно записать, соответственно, следующие соотношения:

$$F \sin \varphi + R_A \sin \alpha - R_B \sin \beta = 0,$$

$$-F \cos \varphi + R_A \cos \alpha + R_B \cos \beta = 0,$$

из которых получаем формулы для вычисления расчетных значений реакций  $\bar{R}_A$  и  $\bar{R}_B$ , а также реакции  $\bar{R}_C$  в точке С

$$R_A = F \frac{\sin \beta \cos \varphi - \cos \beta \sin \varphi}{\sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta} = F \frac{\sin(\beta - \varphi)}{\sin(\beta + \alpha)},$$

$$R_B = F \frac{\sin \varphi \cos \alpha + \cos \varphi \sin \alpha}{\cos \beta \sin \alpha + \sin \beta \cos \alpha} = F \frac{\sin(\varphi + \alpha)}{\sin(\beta + \alpha)},$$

$$R_C = R_{C_4} = R_{C_5} = R_B.$$

Здесь следует отметить, что изменения величины и направления силы натяжения нити 26 (см. фиг. 1) вызывают деформации пружин 14 кронштейнов 8 и 9 и повороты последних в шарнирах А' и В' и, соответственно, перемещения точек А и В по вертикали и горизонтали, а также повороты частей 4 и 5 арки относительно друг друга в шарнире С. Это приводит к некоторым искажениям описанной картины действующих на арку сил, т.е. к погрешностям при экспериментальном исследовании аксиом и теорем статики. Однако при достаточно высокой жесткости пружин 14 и малой длине кривошипов - (расстояния АА' и ВВ') по сравнению с расстояниями от точки С до точек А и В погрешности измерений сил по сравнению с расчетными их значениями будут незначительными и ими можно будет пренебречь.

Полученные расчетом по вышеприведенным уравнениям значения реакций сопоставляются с измеренными силами, что позволяет убедиться в достоверности применяемых уравнений равновесия тел под действием сил, в том числе в выполнении в данной модели аксиомы о равновесии тела под действием двух сил и теоремы о

равновесии тела под действием трех сил.

Таким образом, данная полезная модель позволяет существенно повысить информативность, надежность и точность исследования условий равновесия тел под действием сил, так как обеспечивает фиксированное положения опор балки на основании и более простое и точное регулирование и измерение величин и направлений действующих на балку сил.

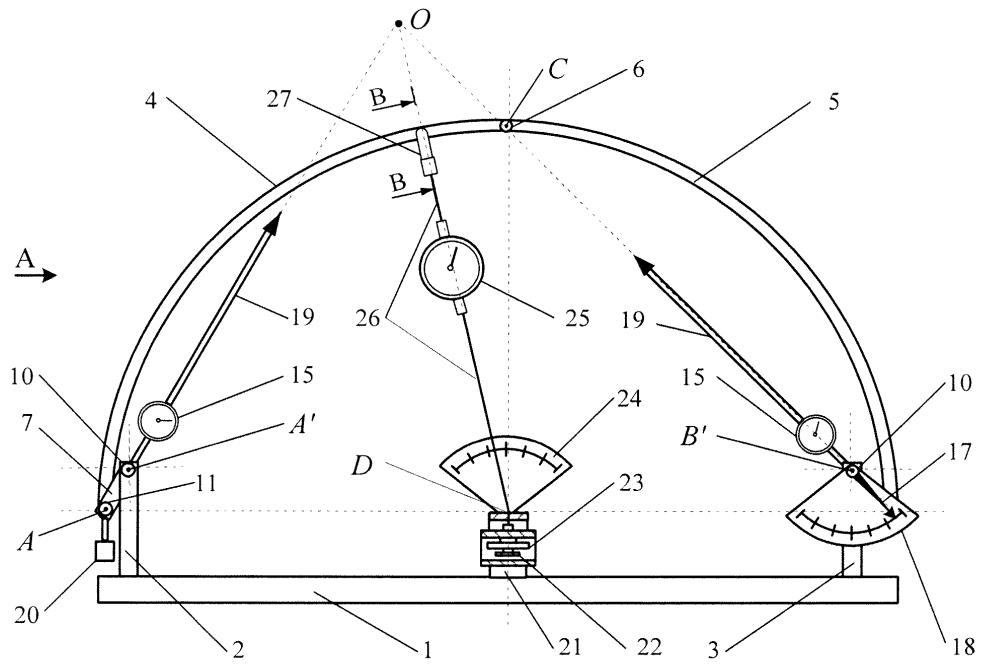
#### (57) Формула полезной модели

1. Устройство для исследования условий равновесия тел под действием сил, содержащее модель твердого тела в виде балки, закрепленной с помощью опор на неподвижном основании, и механизмы создания и измерения действующих на балку внешних сил и реакций опор, включающие в себя пружинные динамометры и нерастяжимые нити, отличающееся тем, что балка выполнена в виде двух одинаковых изогнутых по дуге окружности частей, шарнирно соединенных между собой и подвижно закрепленных на опорах посредством кривошипов, каждый из которых шарнирно сочленен с соответствующими концом балки и опорой и выполнен в виде втулки с установленным в ней штоком и пружины, закрепленной между втулкой и штоком, механизм создания действующей на балку внешней силы выполнен в виде кронштейна с натяжным винтом, закрепленного на основании посередине между опорами балки, фиксатора точки приложения силы, установленного на балке с возможностью перемещения по ней, и пружинного динамометра, соединенного с натяжным винтом и с фиксатором посредством нерастяжимых нитей, а механизмы измерения реакций опор выполнены в виде закрепленных на кривошипах стрелочных индикаторов, подпружиненных относительно штоков кривошипов.

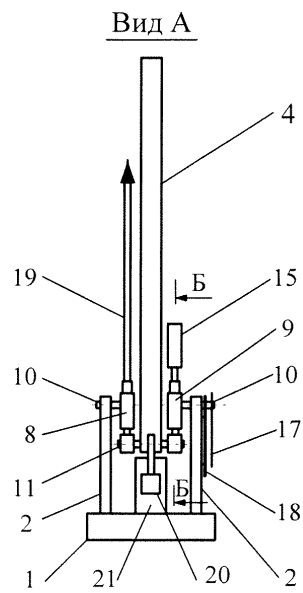
2. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что оно снабжено грузами уравнивания частей балки, установленными на ее концах, а также указателями направлений сил в виде стержней и стрелок, установленных на кривошипах, и градуированных шкал, закрепленных на опорах и на кронштейне с натяжным винтом.

3. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что в балке выполнены продольные боковые пазы, а фиксатор точки приложения внешней силы выполнен в виде скобы, установленной в пазах балки.

1



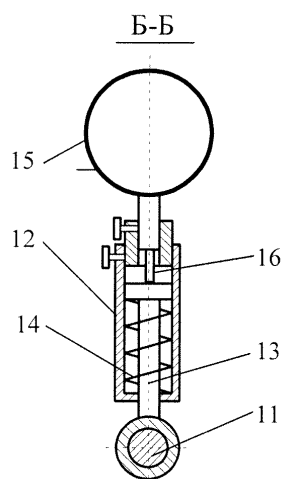
Фиг. 1



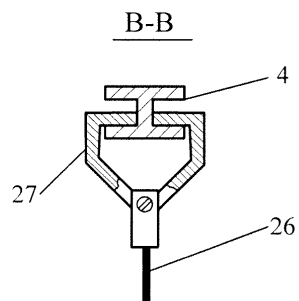
Фиг. 2

2

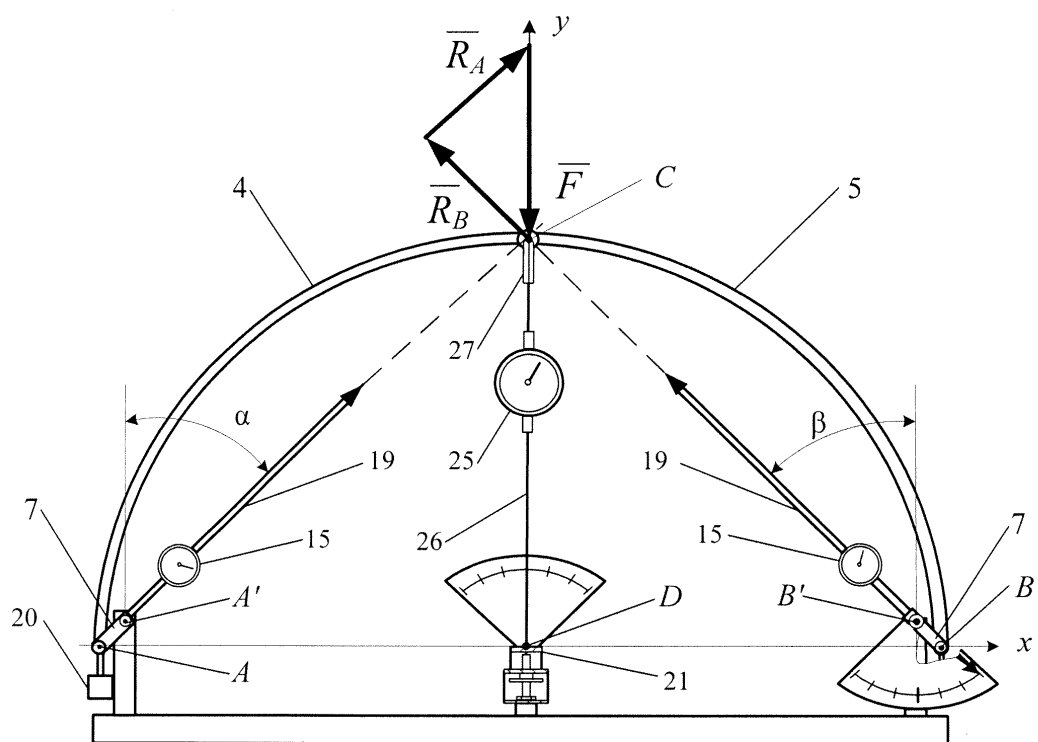




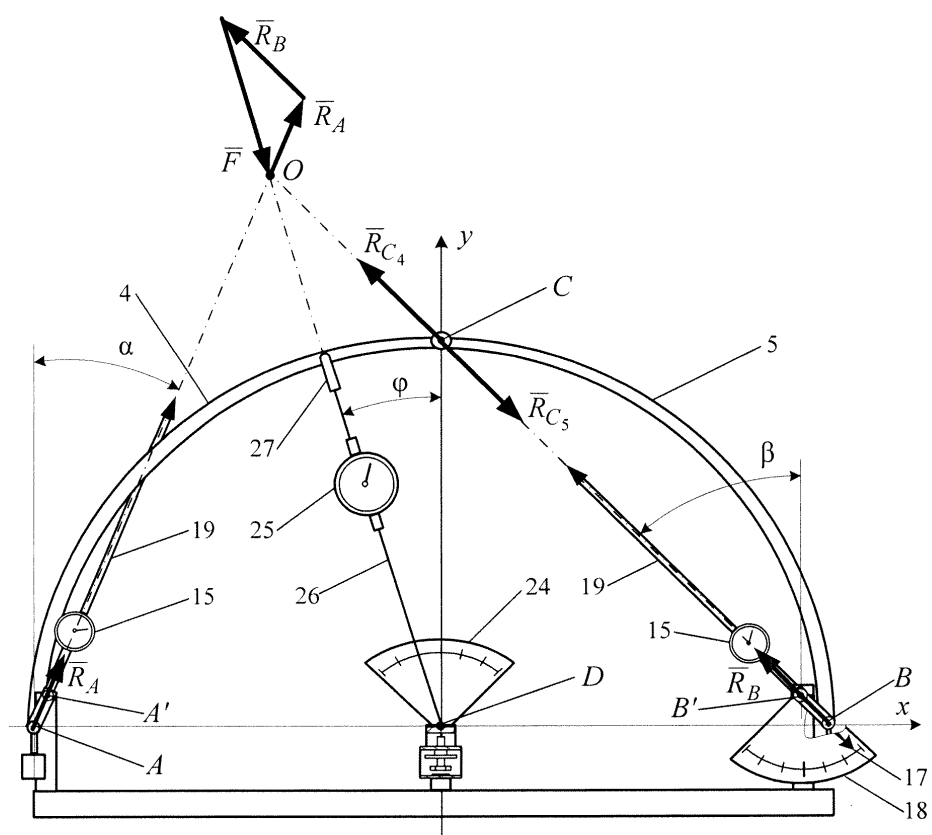
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



ФИГ. 6