



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016140162, 12.10.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
12.10.2016

Дата регистрации:  
26.06.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.10.2016

(45) Опубликовано: 26.06.2017 Бюл. № 18

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, для  
Базиненкова А.М. (каф. МТ-11)

(72) Автор(ы):

Товмаченко Дмитрий Константинович (RU),  
Михайлов Валерий Павлович (RU),  
Базиненков Алексей Михайлович (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 2404381 C1, 20.11.2010. RU  
2411404 C1, 10.02.2011. CN 103398132 B,  
09.09.2015. CN 104251275 A, 31.12.2014.

(54) Многокоординатная активная виброизолирующая платформа

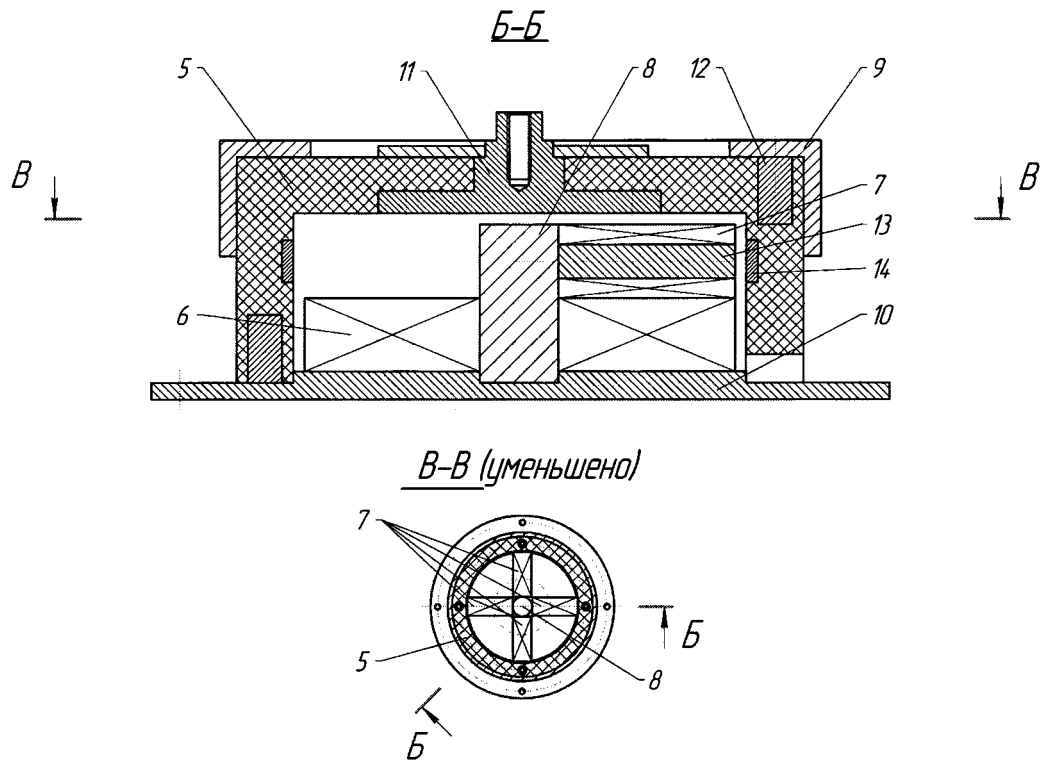
(57) Реферат:

Полезная модель относится к прецизионному машиностроению. Технический результат, обеспечиваемый настоящей полезной моделью, заключается в решении многокоординатной активной виброизолирующей платформой на основе МР эластомеров задачи активной виброизоляции и демпфирования, регулировки и стабилизации положения и ускорения объекта, увеличения нагрузочной способности с обеспечением возможности в автоматическом режиме позиционирования объекта с повышенной точностью перемещений с минимальным временем переходных процессов, увеличения числа степеней подвижности до шести с возможностью работы платформы в любом пространственном положении. Достижение технического результата обеспечивает многокоординатная активная виброизолирующая платформа, содержащая от трех и более активных демпферов, равномерно расположенных по периметру платформы и параллельно расположенных трех и более узлов упругой подвески. Активный демпфер содержит электромагнитную систему и стакан из МР эластомера, образующий в электромагнитной

системе осевой и четыре радиальных рабочих зазора. Демпфер работает следующим образом: при подаче управляющего тока на соответствующие электромагнитные катушки в электромагнитной системе возникает замкнутое магнитное поле. В стакане формируется магнитное поле, направление которого зависит от включенной в настоящий момент катушки. Под действием этой магнитной индукции соответствующая область стакана перемещается к сердечнику включенной катушки в пределах воздушного зазора. В мембране стакана из МР эластомера формируется радиальное магнитное поле с индукцией, величина которой имеет максимум вблизи жесткого центра. Под действием этой магнитной индукции мембрана с жестким центром перемещается в осевом направлении в пределах осевого зазора. В трубчатой части стакана из МР эластомера формируется магнитное поле вблизи горизонтально расположенных соленоидов и сердечников. Под действием этого поля трубчатый элемент перемещается в радиальном направлении в пределах радиальных зазоров. Узел упругой подвески виброизолирующей платформы

представляет собой горизонтальный маятник с регулируемыми несущей и корректирующими пружинами и упругими шарнирами в виде тонких пластин. Узлы упругой подвески позволяют

настраивать платформу для активной виброизоляции на требуемую массу объекта и резонансную частоту платформы при помощи несущих и корректирующих пружин.



Фиг.3

## Область техники

Полезная модель относится к прецизионному машиностроению, а конкретно, к многокоординатной активной виброизолирующей системе, которая может быть использована в технологическом и исследовательском оборудовании: в сканирующих зондовых и оптических микроскопах, в установках ионной, электронной, рентгеновской и оптической литографии, в координатно-измерительных машинах, в лазерных системах, в оборудовании для механообработки, в адаптивной оптике и др.

## Уровень техники

Известна управляемая опора, содержащая соленоид (электромагнитную катушку) с сердечником внутри, расположенный между основанием и опорной частью. Соленоид охватывает упругий элемент из магнитореологического (МР) материала. Упругий элемент контактирует с поверхностями основания и опорной части. Дополнительный упругий элемент из МР материала установлен с сопряжением с опорной частью и контактирует с поверхностью сердечника. При этом основание, опорная часть и сердечник соленоида изготавливаются из магнитного материала. Достигается повышение нагрузочной способности и быстродействия управляемой опоры (Патент РФ №2404380, МПК F16F 9/53 (2006.01), F16F 15/03 (2006.01), 30.09.2009). На соленоид подается электрический ток определенной величины, вследствие чего в магнитопроводе, состоящем из сердечника, опорной части, основного упругого элемента, опорной части и дополнительного упругого элемента, возникает замкнутое магнитное поле. При этом в основном упругом элементе формируется преимущественно осевое магнитное поле. Заключенные в упругую матрицу магнитные частицы упругого элемента ориентируются вдоль линий магнитного поля, смещаются в направлении наибольшей индукции, изменяя геометрические размеры упругого элемента, его модуль упругости и вязкость, в результате чего опорная часть перемещается по вертикальной оси. За счет регулирования величины электрического тока, которое обеспечивает автоматическая система, происходит эффективное гашение колебаний от внешних возмущающих воздействий.

Недостатком известного устройства является малый диапазон перемещений в активном режиме основного и дополнительного упругих элементов из МР материала. Это обусловлено тем, что магнитная сила со стороны соленоида должна преодолеть большие упругие силы, возникающие при деформации основного и дополнительного упругих элементов, которые пропорциональны их модулю упругости и большой площади поперечного сечения.

Известен магнитный демпфер (Патент РФ 2244178, МПК F16F 6/00, дата начала действия: 28.02.2003 г.), содержащий основание, подвесы, содержащие виброгасители, а также магниты, установленные по замкнутой линии, и проводящий гаситель колебаний, установленный с возможностью взаимодействия с потоками, образованными магнитами. Данный демпфер двухкаскадный. Подвес защищаемого объекта, расположенного на подвижном основании, осуществляется на стойках за счет упругих виброгасителей с элементами растяжения, они представляют собой первую ступень его виброизоляции. Виброизоляция осуществляется также за счет магнитной связи пар магнитов, закрепленных на основании кронштейнами, и проводящих пластин, закрепленных на подвижном основании.

Недостатком указанного магнитного демпфера является его способность гасить колебания только в пассивном и полуактивном режимах. Указанное устройство не способно само служить источником движения.

Известно управляемое устройство гашения колебаний (Патент РФ 2411404, МПК F16F, 9/53 (2006.01), 15/03 (2006.01), дата начала отсчета срока действия: 09.10.2009,

опубл. 10.02.2011 бюл. №4), содержащее корпус, соленоид, упругий элемент в виде стержня из магнитореологического упругого материала. Корпус выполнен с возможностью фиксации положения в продольном направлении одного конца упругого элемента, а также с возможностью выхода наружу второго конца упругого элемента или расположения этого конца упругого элемента с выступанием из корпуса. На концах упругого элемента расположены элементы для его закрепления. При возникновении колебательного процесса упругий элемент начинает совершать колебания вдоль своей оси. При подаче электрического тока на соленоид вырабатывается электромагнитное поле, которое воздействует на вязкоупругие свойства упругого элемента, в результате чего изменяются параметры колебательной системы.

Недостатком устройства гашения колебаний является его неспособность работать в режиме активной виброизоляции за компенсации виброперемещений за счет перемещения объекта устройством.

Известна активная виброзащитная система (Патент РФ 2268422, МПК F16F, 6/00 (2006.01), 15/02 (2006.01), дата начала действия: 17.08.2004, опубл. 20.01.2006 бюл. №2), содержащая немагнитный резервуар, платформу с защищаемым объектом и основание, связанные через гидравлические исполнительные элементы в виде манометрических трубок. Их концы, которые связаны с платформой, заглушены. На цилиндрический резервуар свободно концентрично надет постоянный магнит, упруго соединенный с основанием. Резервуар с одной стороны заглушен, а с другой гидравлически соединен с незаглушенными концами манометрических трубок. Полости трубок и резервуара заполнены магнитореологическим материалом, ферромагнитной жидкостью. Указанное устройство хорошо работает в резонансном режиме.

Недостатком системы является возможность защищать объект от вибраций в режиме пассивной и полуактивной виброизоляции за счет диссипации энергии и активном режиме за счет механической обратной связи. Отсутствует возможность оперативно подстраиваться под изменяющиеся характеристики вибраций.

Известны также пружинно-маятниковые и пружинные виброзащитные системы с массовым или пружинным корректором, содержащие маятник, несущую пружину, вывешивающую маятник и массовый или пружинный корректор, выполненные в виде груза или пружин на рычаге, ось которого проходит через ось качания маятника. Достигается эффективное гашение высокочастотных колебаний (Виброзащитные системы с квазинулевой жесткостью / П.М. Алабужев, А.А. Гритчин, Л.И. Ким и др.; Под ред. К.М. Рагульскаса. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. - 96 с.).

Натяжение несущей пружины регулируется таким образом, чтобы вывесить массу маятника. Эффективное гашение высокочастотных колебаний достигается за счет обеспечения малой собственной резонансной частоты, которая регулируется при помощи массового корректора за счет перемещения груза вдоль рычага или пружинного корректора за счет регулировки натяжения корректирующих пружин.

Известен виброизолятор с квазинулевой жесткостью (Патент РФ 2298119, МПК F16F, 7/08 (2006.01), 9/06 (2006.01), дата начала отсчета срока действия: 19.09.2005, опубл. 27.04.2007 бюл. №12), который состоит из двух элементов: 1 - плоские пружины (пакет упругих элементов арочного типа), на которые устанавливается объект; 2 - вязкоупругий демпфер. Демпфер состоит из упругодемпфирующего кольца, связанного плоскими пружинами через втулки.

Недостатком указанных устройств является неспособность гасить колебания на низких частотах, близких к собственной резонансной частоте.

Известна наиболее близкая к заявляемому устройству активная опора, содержащая

корпус, в полости которого расположен соленоид. Внутри соленоида размещен сердечник, сопряженный с основанием. Мембрана из упругого МР материала закреплена по периметру на корпусе. Внутренняя поверхность мембраны расположена с зазором относительно сердечника. Корпус, основание и сердечник выполнены из магнитного материала. Достигается повышение нагрузочной способности и быстродействия опоры, а также возможность перемещения объекта в заданном направлении с увеличенным диапазоном значений (Патент РФ №2404381, МПК F16F 9/53 (2006.01), F16F 15/03 (2006.01), 30.09.2009). На соленоид подается электрический ток, под действием которого в магнитопроводе возникает замкнутое магнитное поле. В мембране формируется радиальное магнитное поле с индукцией, величина которой имеет максимум вблизи сердечника. Под действием этой магнитной индукции мембрана перемещается в осевом направлении в пределах зазора. За счет регулирования величины электрического тока происходит эффективное гашение колебаний от внешних возмущающих воздействий.

Недостатком известного устройства является недостаточная нагрузочная способность мембраны из упругого магнитореологического материала вследствие наличия осевого зазора, в пределах которого перемещается мембрана.

#### Раскрытие полезной модели

Технический результат, достигаемый указанной полезной моделью, заключается в решении многокоординатной активной виброизолирующей платформой на основе МР эластомеров задачи активной виброизоляции и демпфирования, регулировки и стабилизации положения и ускорения объекта; увеличения нагрузочной способности с обеспечением возможности в автоматическом режиме позиционирования объекта с повышенной точностью перемещений с минимальным временем переходных процессов, увеличения числа степеней подвижности до шести (трех осевых и трех угловых перемещений, что особенно важно для многокоординатной виброизоляции).

Достижение технического результата обеспечивается за счет того, что многокоординатная активная виброизолирующая платформа включает активный демпфер, содержащий соленоид, сердечник, размещенный внутри соленоида и сопряженный с основанием, рабочее тело из МР эластомера и расположенный в теле мембраны подвижный жесткий центр, установленный с зазором относительно сердечника. При этом между подвижной и неподвижной плитами платформы параллельно установлены от трех и более активных демпферов, равномерно расположенных по периметру платформы. Рабочее тело из МР эластомера, выполненное в виде стакана, охватывает соленоид, в верхней части вертикального сердечника которого в горизонтальном положении жестко закреплены еще четыре поперечных взаимно-перпендикулярных сердечника с размещенными на них соленоидами, образующих радиальный зазор с трубчатой частью стакана из МР эластомера. Параллельно активным демпферам между подвижной и неподвижной плитами расположены три и более узла упругой подвески, содержащие пружинные корректоры, упругие шарниры в виде плоских пружин, маятники, несущие цилиндрические пружины с возможностью регулировки их предварительного натяжения, плоские пружины и конические опоры для вывешивания объекта. Причем в трубчатой части стакана из МР эластомера по внутренней цилиндрической поверхности напротив четырех горизонтальных поперечных сердечников с соленоидами может быть расположено кольцо из магнитного материала, образующее с ними радиальный зазор.

Активная виброизолирующая платформа содержит как минимум три активных демпфера и три узла упругой подвески с пружинными корректорами, по одной на каждый демпфер, равномерно расположенных по периметру платформы. Демпфер

работает следующим образом: при подаче управляющего тока на соответствующие электромагнитные катушки в электромагнитной системе возникает замкнутое магнитное поле. В стакане формируется магнитное поле, направление которого зависит от включенной в настоящий момент катушки. Под действием этой магнитной индукции жесткий центр мембраны стакана или соответствующая область трубчатой части стакана перемещаются к находящемуся напротив них сердечнику включенной катушки в пределах воздушного зазора. При этом в мембране стакана из МР эластомера формируется радиальное магнитное поле с индукцией, величина которой имеет максимум вблизи жесткого центра. Под действием этой магнитной индукции мембрана с жестким центром перемещается в осевом направлении в пределах осевого зазора. В трубчатой части стакана из МР эластомера формируется магнитное поле вблизи горизонтально расположенных соленоидов и сердечников. Под действием этого поля трубчатая часть стакана из МР эластомера перемещается в радиальном направлении в пределах радиальных зазоров.

В предпочтительном варианте выполнения все активные демпферы содержат стакан из МР эластомера с жестким центром из магнитного материала.

В трубчатой части стакана из МР эластомера по внутренней цилиндрической поверхности напротив четырех горизонтальных поперечных соленоидов с сердечниками может быть расположено кольцо из магнитного материала, образующее с ними радиальный зазор. При этом трубчатая часть стакана из МР эластомера с кольцом из магнитного материала перемещается в радиальном направлении в пределах радиальных зазоров под действием поля горизонтально расположенных соленоидов и сердечников. За счет применения кольца из магнитного материала увеличивается сила магнитного взаимодействия в магнитной системе демпфера. При этом достигается увеличение грузоподъемности каждого демпфера и всей платформы.

Узлы упругой подвески позволяют настраивать платформу для активной виброизоляции на требуемую массу объекта при помощи регулируемой несущей пружины и требуемую резонансную частоту при помощи пружинного корректора. Узел упругой подвески виброизолирующей платформы представляет собой горизонтальный маятник с регулируемой несущей пружиной и пружинным корректором.

#### Перечень фигур

Возможность осуществления полезной модели иллюстрируется примерами конкретного выполнения активной виброизолирующей платформы.

На Фиг.1 изображена схема многокоординатной активной виброизолирующей платформы на основе МР эластомера.

На Фиг. 2 изображена схема трехкоординатного активного демпфера.

На Фиг. 3 изображена схема трехкоординатного активного демпфера с кольцом из магнитного материала.

На Фиг. 4 изображена схема узла упругой подвески в виде упругого шарнира.

#### Осуществление полезной модели

Многокоординатная активная виброизолирующая платформа на основе МР эластомера (Фиг. 1) содержит подвижную плиту (1), неподвижную плиту (2) с расположенными между ними четырьмя трехкоординатными активными демпферами на основе МР эластомера (3) и четырьмя узлами упругой подвески на основе несущих и корректирующих пружин (4).

Трехкоординатный активный демпфер (Фиг. 2) содержит стакан из МР эластомера (5), вертикальную электромагнитную катушку (6), четыре горизонтальные электромагнитные катушки (7), сердечники (вертикальный (8) и горизонтальные (13)),

кожух (9), основание (10), подвижный жесткий центр (11).

5      Стакан из МР эластомера (5) по торцу его трубчатой части закреплен при помощи залитых в эластомер втулок (12) на основании (10). Сердечники (8) и (13), на которых размещены вертикальный (6) и четыре горизонтальных соленоида (7), которые также  
закреплены на основании (10). Подвижный жесткий центр (11) зафиксирован в центральной части мембраны стакана из МР эластомера (5).

Трехкоординатный активный демпфер с кольцом из магнитного материала (Фиг.3) содержит дополнительно кольцо из магнитного материала (14), залитое в трубчатую часть стакана из МР эластомера (5).

10      Каждый узел упругой подвески (Фиг. 4) включает упругие шарниры (24) и (19) в виде тонких пластин, маятник (15), арочную опору (16), несущую цилиндрическую пружину (17), коническую опору (18), систему из двух цилиндрических корректирующих пружин (20), регулируемых при помощи болтового соединения (21) и опор (22) пружин (20).

15      Объект, положение которого необходимо стабилизировать, обеспечив виброизоляцию от внешних возмущающих воздействий, монтируется на подвижной плите (1), а неподвижная плита (2) крепится на фундаменте.

На электромагнитные катушки (6) и (7) каждого демпфера (3) подается электрический ток определенной величины, зависящей от характеристик катушки, вследствие чего в магнитопроводе, в который входит соответствующий сердечник ((8) или (13), в  
20      зависимости от направления поля), основание (10), стакан из МР эластомера (5), подвижный жесткий центр (11), возникает замкнутое магнитное поле. При этом мембрана с подвижным жестким центром (11) или трубчатая часть стакана из МР эластомера (5) притягиваются к соответствующему сердечнику (8) или (13) (в зависимости от направления поля), одновременно изменяя жесткость стакана за счет  
25      воздействия на МР эластомер (5) магнитным полем.

В случае демпфера с кольцом из магнитного материала. На электромагнитные катушки (6) и (7) каждого демпфера (3) подается электрический ток определенной величины, зависящей от характеристик катушки, вследствие чего в магнитопроводе, в который входит соответствующий сердечник ((8) или (13), в зависимости от направления  
30      поля), основание (11), стакан из МР эластомера (5), подвижный жесткий центр (11) и кольцо из магнитного материала (14) возникает замкнутое магнитное поле. При этом мембрана с подвижным жестким центром (11) или трубчатая часть стакана (5) с кольцом из магнитного материала (8) притягиваются к соответствующему сердечнику (7) или (9) (в зависимости от направления поля), одновременно изменяя жесткость стакана за счет  
35      воздействия на МР эластомер (5) магнитным полем. За счет применения кольца из магнитного материала (14), залитого в МР эластомер, увеличивается сила магнитного взаимодействия в магнитной системе демпфера. При этом достигается увеличение грузоподъемности каждого демпфера и всей платформы.

Узел упругой подвески (4) предназначен для повышения грузоподъемности и  
40      настройки низкой резонансной частоты активной виброизолирующей платформы на основе МР эластомера. Подвижная платформа (1) с объектом расположена на конических опорах (18), которые при помощи упругих шарниров (19) передают усилие от массы объекта на маятник (15), который совершает качающиеся движения в упругом шарнире (24), закрепленном на неподвижной плите (2), кроме того, маятник (15)  
45      подвешен в арочной опоре (16) на несущую цилиндрическую пружину (17) (см. вид Г-Г). Маятник связан двумя цилиндрическими корректирующими пружинами (20) с неподвижной плитой (2) через опоры этих пружин в виде кронштейнов (22).

Корректирующие пружины регулируются болтовым соединением (21). Регулируя

натяжение пары корректирующих пружин (20) при помощи системы регулировки на основе болтового соединения (21), можно настраивать узел упругой подвески на виброизоляцию объекта определенной массы и определенные резонансные частоты.

Система регулировки цилиндрических корректирующих пружин (21) может быть  
5 выполнена конструктивно в виде резьбового стержня, зафиксированного от проворота в планке (23), жестко связанной с маятником, при помощи выполненных на нем двух лысок (разрез Е-Е). На каждом из стержней с одной стороны закреплена цилиндрическая корректирующая пружина (21), а с другой стороны расположены по две гайки (22), предназначенные для регулировки предварительного натяжения этих цилиндрических  
10 пружин (21).

#### (57) Формула полезной модели

1. Многокоординатная активная виброизолирующая платформа, включающая активный демпфер, содержащий соленоид, сердечник, размещенный внутри соленоида  
15 и сопряженный с основанием, рабочее тело из магнитореологического (МР) эластомера и расположенный в теле мембраны подвижный жесткий центр, установленный с зазором относительно сердечника, отличающаяся тем, что между подвижной и неподвижной плитами платформы параллельно установлены от трех и более активных демпферов, равномерно расположенных по периметру платформы; рабочее тело из МР эластомера,  
20 выполненное в виде стакана, охватывает соленоид, в верхней части вертикального сердечника которого в горизонтальном положении жестко закреплены еще четыре поперечных взаимно-перпендикулярных сердечника с размещенными на них соленоидами, образующих радиальный зазор с трубчатой частью стакана из МР эластомера; параллельно активным демпферам между подвижной и неподвижной  
25 плитами расположены три и более узла упругой подвески, содержащие пружинные корректоры, упругие шарниры в виде плоских пружин, маятники, несущие цилиндрические пружины с возможностью регулировки их предварительного натяжения, плоские пружины и конические опоры для вывешивания объекта.

2. Платформа по п. 1, отличающаяся тем, что в трубчатой части стакана из МР  
30 эластомера по внутренней цилиндрической поверхности напротив четырех горизонтальных поперечных сердечников с соленоидами расположено кольцо из магнитного материала, образующее с ними радиальный зазор.

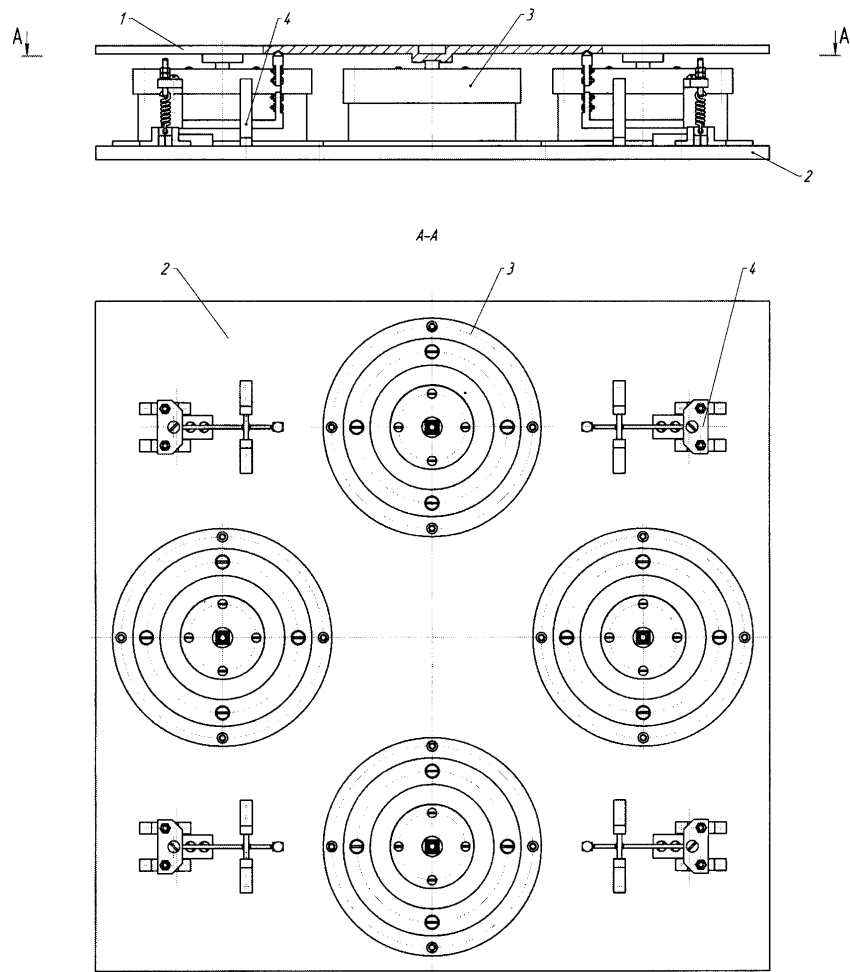
35

40

45

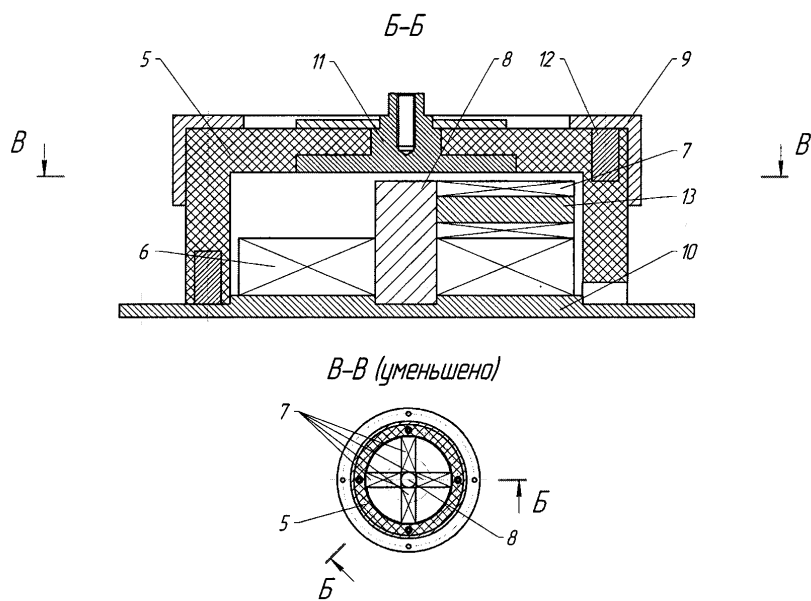


1

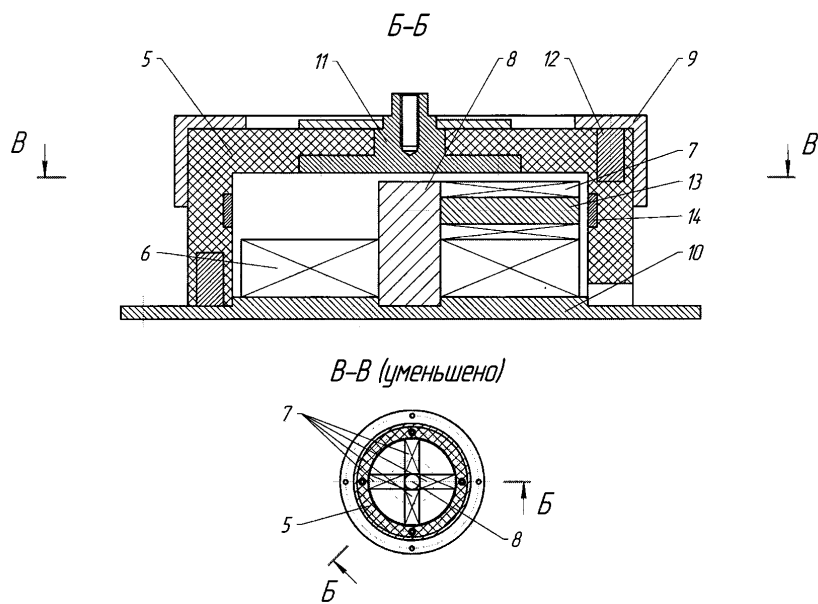


Фиг.1

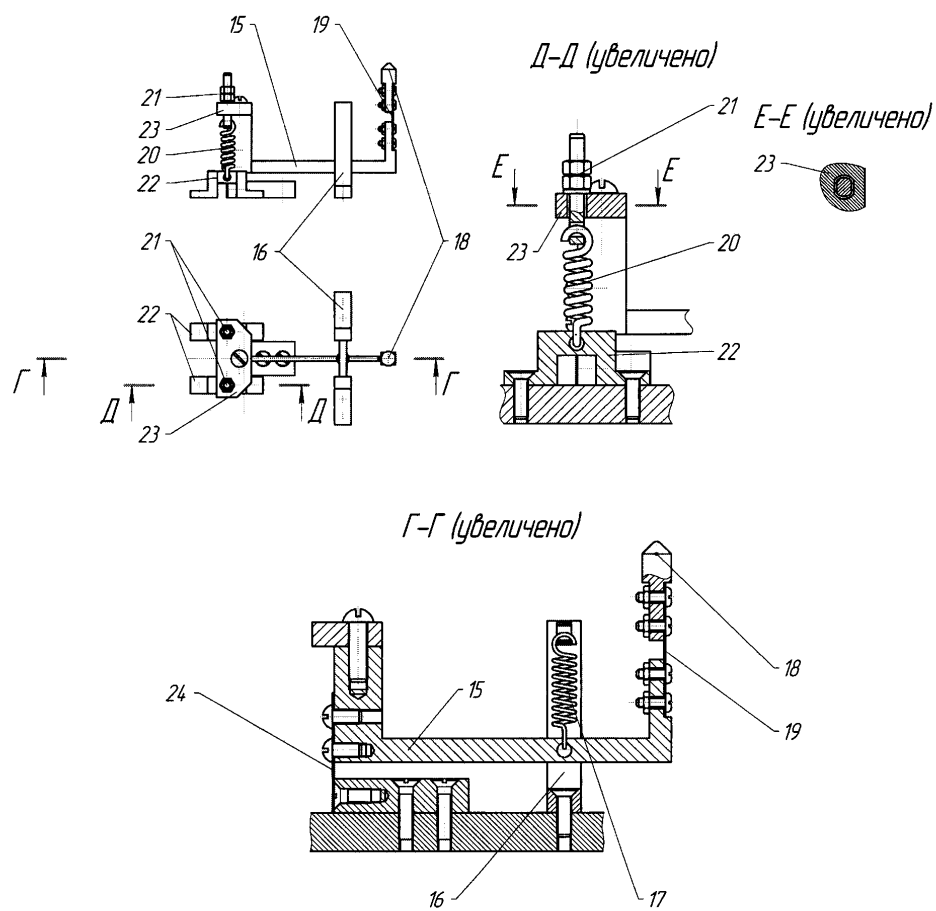
2



Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4