



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: не действует (последнее изменение статуса: 17.11.2011)
Пошлина: учтена за 7 год с 14.11.2007 по 13.11.2008

(21)(22) Заявка: 2002127775/11, 13.11.2001

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.11.2001

(43) Дата публикации заявки: 10.02.2005 Бюл. № 4

(45) Опубликовано: 10.01.2006 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 83/01666 A1, 11.05.1983. SU
109419 A, 05.01.1959. GB 636109 A,
26.04.1950. GB 328907 A, 05.05.1930.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную
фазу:
29.03.2004

(86) Заявка РСТ:
RU 01/00478 (13.11.2001)

(87) Публикация РСТ:
WO 03/042580 (22.05.2003)

Адрес для переписки:
634063, г.Томск, а/я 1989, В.В.
Становскому

(72) Автор(ы):

Становской Виктор Владимирович (RU),
Ремнева Татьяна Андреевна (RU)

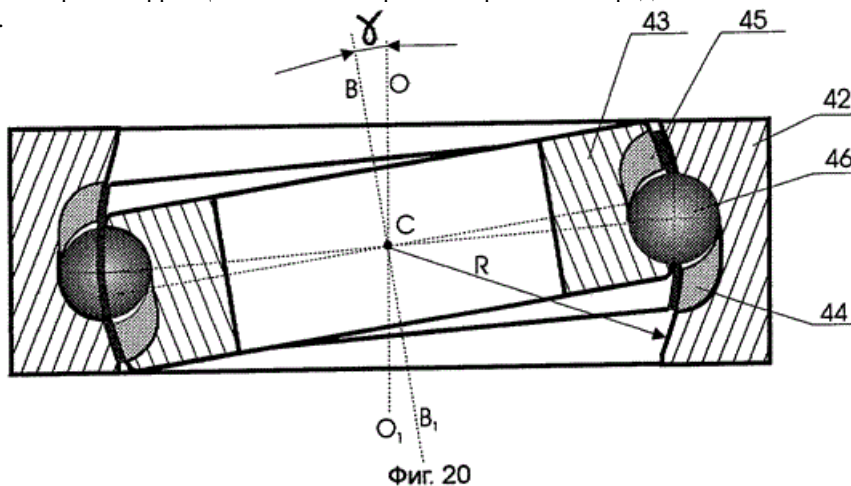
(73) Патентообладатель(и):

Закрытое акционерное общество
"Томские трансмиссионные системы"
(RU)

(54) ПЕРЕДАЮЩИЙ УЗЕЛ С КАЧАЮЩЕЙСЯ ШАЙБОЙ (ВАРИАНТЫ) И
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СКОРОСТИ НА ЕГО ОСНОВЕ
(ВАРИАНТЫ)

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению. Передающий узел с качающейся шайбой содержит две обоймы 42 и 43, одна из которых 43 является качающейся шайбой. На обращенных друг к другу поверхностях тел вращения выполнены замкнутые кольцевые дорожки качения 44 и 45, взаимодействующие друг с другом посредством шариков 46 (тел качения), находящихся в постоянном контакте с дорожками качения 44 и 45 на обеих деталях. Угол наклона качающейся шайбы выбран так, чтобы дорожки в месте контакта с телами качения имели друг к другу наклон, меньший или равный углу самозаклинивания тел качения. Приведены варианты. Технический результат - устранение проскальзывания шариков в передающих узлах с качающейся шайбой, а также автоматическое регулирование нажатия на шарик во фрикционно-планетарных шариковых передачах. 4 н. и 43 з.п. ф-лы, 47 ил.



Область техники. Изобретение относится к области общего машиностроения, а именно к средствам для передачи вращения с преобразованием скорости,

основанным на механизме с качающейся (прецессирующей) шайбой, и может быть использовано в приводах машин и механизмов самого широкого назначения.

Предшествующий уровень техники. Известны преобразователи скорости, называемые и классифицируемые по-разному, но основанные на одинаковом принципе зубчатой передачи с качающейся шайбой.

К ним относится волновая зубчатая торцевая передача по заявке на патент РФ №94023896, МПК F 16 H 1/00. Передающий узел ее содержит качающуюся шайбу с торцевым зубчатым венцом, который находится в зацеплении с неподвижным торцевым зубчатым колесом. Прецессию шайбы вызывает генератор волн в виде эксцентрика с нажимным роликом. Качающаяся шайба связана с ведомым валом с помощью пространственного (или универсального) шарнира.

По аналогичной кинематической схеме построена планетарная прецессионная коническая передача (SU СССР №1414976), волновая передача с жесткими звеньями (SU №653458), коническая волновая передача RU №2145016. Подобные кинематические схемы, но с различиями в выполнении отдельных узлов, реализуют преобразователи скорости по патентам США №3525890; №3640154; №4281566; №4841809; №5562560. Некоторые из них имеют два передающих узла, т.е. реализуют двухступенчатую передачу.

Все вышеописанные преобразователи скорости обладают общими недостатками, которые определяются используемым в них зубчатым зацеплением. Прежде всего, это большое трение и высокие тепловые потери, особенно при повышенных скоростях вращения. Кроме того, в зацеплении одновременно находится всего несколько зубьев, что ограничивает величину передаваемых этими механизмами моментов. Часть из этих недостатков устраняют преобразователи скорости с нутационными или прецессионными системами передачи момента с кулачковым зацеплением звеньев через тела качения (US №4715249; US №4563915; SU №1427115). Дифференциальный преобразователь скорости с качающейся шайбой по патенту US №4563915 имеет передающий узел из трех звеньев. Качающаяся шайба с двумя периодическими по азимуту кулачковыми элементами в виде гребней и впадин, расположенных на ее противоположных торцах, размещена между двух других звеньев в виде тел вращения. Кулачковые поверхности качающейся шайбы через цепочки шариков взаимодействуют с аналогичными кулачковыми элементами на обращенных к качающейся шайбе поверхностях тел вращения. Шарiki удерживаются на фиксированном угловом расстоянии друг от друга тонкостенным сепаратором с отверстиями, введенным между взаимодействующими кулачковыми элементами. Гребни и впадины направлены вдоль оси и сконструированы так, чтобы элементы качения двигались по синусоидальной кривой на поверхности воображаемой сферы с центром, совпадающим с центром качающейся шайбы (и центром прецессии). Однако в этом устройстве расположенные на фиксированном расстоянии шарiki будут постоянно сцепляться, и расцепляться с кулачковыми поверхностями, так как направлены вдоль оси гребни, и впадины на торцевых поверхностях находятся на разных расстояниях от центра воображаемой сферы.

Этот недостаток устранен в патентах US №4620456, а также US №5443428. Передающий узел таких преобразователей скорости также включает три звена, одним из которых является качающаяся шайба, а два других представляют собой тела вращения. Промежуточная качающаяся шайба снабжена, по крайней мере, одной кулачковой поверхностью в виде изогнутой дорожки качения, зацепляющейся через цепочку шариков с дорожкой на одном из тел вращения передающего узла. В патенте №4620456 боковая поверхность качающейся шайбы изогнута по сфере, а трохоидальная дорожка качения выполнена в месте пересечения боковой и торцевой поверхности, либо на торцевой поверхности качающейся шайбы. У противоположного торца качающейся шайбы в случае одноступенчатого преобразователя выполнены лунки, зацепляющиеся через вторую цепочку шариков с лунками на другом теле вращения. Тела вращения связаны с валом отбора мощности или корпусом преобразователя соответственно. Для фиксации углового положения шариков относительно друг друга при прохождении ими одновременно выступов или впадин на сопрягаемых дорожках между сопрягаемыми поверхностями введен тонкостенный сепаратор, в отверстиях которого размещены шарiki. В двухступенчатом преобразователе на качающейся шайбе с обеих сторон выполнены эпитрохоидальные дорожки качения с разным числом зубьев, сопрягающиеся с гипотрохоидальными дорожками на корпусной и выходной детали.

Шайба качается относительно центра прецессии, являющегося центром симметрии системы, а цепочки шариков находятся в нутирующем движении, т.к. их плоскости смещены от центра прецессии. Шарiki совершают колебательное движение как в осевом, так и в радиальном направлении, то есть при работе механизма происходит изменение угла смещения зацепляющихся деталей, что для высокоскоростных механизмов приводит к вибрации и вызываемым ею проблемам: шуму и износу. Кроме того, дорожки качения по эпи- и гипотрохоидальным кривым сложны в изготовлении. Понимая это, авторы предложили изготавливать все детали передаточного механизма из пластмассы, на которой дорожки качения сложной формы можно изготавливать штамповкой. Очевидно, что такие передачи не пригодны для силовых механизмов, а могут быть использованы только для

приборов, часов и т.п. изделий.

В патенте US №5443428 описан преобразователь такой же конструкции, но с еще более сложной в расчете и изготовлении кулачковой периодической поверхностью в виде множества сферически расположенных волнообразных выступов и впадин, разработанной для устранения проскальзывания шариков. Две цепочки шариков, лежащие по разные стороны от экваториальной линии сферы, относительно центра сферы совершают только угловые перемещения, поэтому шум и вибрация уменьшены. Однако каждая цепочка шариков относительно оси передающего узла совершает сложное движение, складывающееся из прецессии относительно точки пересечения плоскости цепочки шариков с осью системы и из планетарного движения относительно оси преобразователя. То есть относительно этой оси шарик совершают радиальные перемещения, что оставляет возможность шума и вибраций. Кроме того, особые требования к форме кулачковых поверхностей делают преобразователь мало пригодным в силовых приводах массового применения и изготовления.

Известен преобразователь скорости (US №1748907), передающий узел которого состоит из двух тел вращения: сферической головки, охватываемой качающейся шайбой. На внутренней сферической поверхности качающейся шайбы вдоль экваториальной линии выполнены лунки. Сферическая головка выполнена с замкнутой периодически изогнутой вдоль оси дорожкой качения на ее наружной боковой поверхности в экваториальной области сферы. В лунках расположены шарик, находящиеся в постоянном зацеплении с изогнутой дорожкой качения. В этом передающем узле центр прецессии цепочки шариков совпадает с центром прецессии качающейся шайбы, поэтому цепочка шариков будет участвовать только в прецессирующем движении, и требования к форме выполнения изогнутой дорожки качения значительно уменьшены. Основным недостатком преобразователя являются значительные потери на трение при проскальзывании шариков относительно лунок на качающейся шайбе.

Решению задачи получения передающего узла, в котором тела качения контактируют с периодическими дорожками только с чистым качением, без трения скольжения, посвящено изобретение по заявке WO 008201043, выбранное нами за прототип для одного из вариантов передающего узла. В заявке описан передающий узел из двух тел вращения, содержащий охватывающие друг друга обойму и качающуюся шайбу с сопрягаемыми поверхностями, выполненными по сфере. В экваториальной области сферических поверхностей выполнены периодические дорожки качения, по крайней мере, одна из которых является замкнутой и волнообразно изогнутой. Другая дорожка качения может быть выполнена в виде системы разнесенных по окружности канавок, вытянутых по меридианам сферы. В зацеплении с дорожками качения находятся элементы зацепления в виде тел качения. Для тел качения - шариков число периодов дорожек качения на единицу отличается от числа, кратного четырем, и число периодов дорожек качения качающейся шайбы и обоймы отличается на 2. Дифференциальный преобразователь скорости на основе этого передающего узла содержит первый и второй валы и корпус. Качающаяся шайба связана с одним из этих элементов звеном, преобразующим качающееся движение во вращательное, а с другим из этих элементов звеном, передающим вращение качающейся шайбы независимо от ее качающегося движения. Третий из элементов преобразователя связан непосредственно с обоймой. Чистое качение шариков относительно дорожек в этом изобретении получают двумя путями. В передающем узле с меридиональными канавками их выполняют на наружном охватывающем элементе, компенсируя разницей в расстоянии от точек контакта шарика с внутренней и внешней деталью до центра сферы разный путь, проходимый шариком относительно наклонного фронта волны в замкнутой канавке и относительно меридиональной канавки. Второй путь - это изменение формы поперечного сечения дорожек на подъеме и спуске. При этом изменяется эффективный радиус качения на разных участках дорожек качения, и этим выравнивается путь, проходимый шариком относительно дорожек с разной крутизной фронтов. Таким образом, в обоих случаях цель достигается выравниванием пути, проходимого шариком относительно обеих дорожек качения за одно и то же время. Однако, как показали наши исследования, этого условия недостаточно, чтобы заставить шарик при взаимодействии с дорожками качения только катиться, исключая их проскальзывание.

Кроме того, прототип, как и каждый из вышеописанных преобразователей скорости с качающейся шайбой, имеет неподвижный корпус, с которым в каждой конкретной конструкции связана вполне конкретная деталь, а передающий узел имеет внутренний объем, ограниченный корпусом. Преобразователь с собственным корпусом, как правило, не встраивается в приводные механизмы, а размещается и komponуется снаружи, что увеличивает габариты устройства в целом. Таким образом, задачей изобретения является разработка универсального, простого в изготовлении, минимального по удельным весогабаритным характеристикам и удобного для встраивания в самые разнообразные машины и механизмы передающего узла и преобразователя скорости.

Найденное нами условие качения шариков оказалось пригодным не только для

передающих узлов с периодическими дорожками качения. Применение его в шариковых фрикционно-планетарных передающих узлах позволило создать целый класс простейших передающих механизмов, лишенных главного недостатка всех фрикционных передач, а именно возникновения проскальзывания при изнашивании деталей. Передающий узел известных шариковых фрикционно-планетарных передач (SU №844863, SU №1229484, RU №2010141) содержит два тела вращения с дорожками качения, между которыми в гнездах сепаратора расположены тела качения - шарики. Одно из тел вращения связано с входным валом, другое с корпусом или другим валом, а с выходным валом преобразователя скорости связан сепаратор, который преобразует орбитальное движение шариков во вращение выходного вала. При простоте конструкции, основной проблемой фрикционно-планетарных шариковых передач является необходимость нажимного механизма, который предотвращает проскальзывание шариков при увеличении передаваемого момента или при износе шариков и дорожек качения в процессе эксплуатации. Нажимные механизмы, в основном, используют различные упругие элементы.

Техническим результатом настоящего изобретения является устранение проскальзывания шариков в передающих узлах с качающейся шайбой. При этом для фрикционно-планетарных шариковых передач решается задача автоматического регулирования величины нажатия на шарик без применения специальных механизмов.

Передающие узлы, выполненные по изобретению, являются основой не только для дифференциальных преобразователей скорости, они могут иметь самостоятельное применение, например, в мешалках. Возможно создание механизма, непосредственно преобразующего энергию колебательного движения, (например, морских волн) в энергию вращения с увеличенной или уменьшенной скоростью вращения. Дополнительным техническим результатом, достигаемым отдельными вариантами изобретения, является его компоновка в виде подшипникового узла, без неподвижного корпуса, в котором какая-то из деталей становится неподвижной при посадке преобразователя скорости на его рабочее место.

Более просто понять сущность изобретения на примере передающего узла с качающейся шайбой во фрикционно-планетарных шариковых преобразователях скорости, поэтому начнем описание с этого варианта реализации изобретения.

Сущность изобретения.

В соответствии с изобретением передающий узел содержит два тела вращения, одно из которых выполнено с возможностью двух независимых движений: качаться относительно другого и вращаться вокруг собственной оси, наклонной к оси другого тела вращения и является качающейся шайбой. На обращенных друг к другу поверхностях тел вращения выполнены замкнутые кольцевые дорожки качения, взаимодействующие друг с другом посредством тел качения, находящихся в постоянном контакте с дорожками обоих тел вращения. Угол наклона качающейся шайбы выбран так, чтобы дорожки в месте контакта с телами качения имели друг к другу наклон, меньший или равный углу самозаклинивания тел качения. На практике этот угол для обычных конструктивных материалов можно принять в диапазоне 0,1-10 градусов. При выполнении этого условия тела качения, например шарики, будут зажаты между поверхностями качающейся шайбы и второго тела вращения без проскальзывания и при вращении одного из них будут вовлекаться в орбитальное движение относительно другого. В своем орбитальном движении шарики как кулачки воздействуют на шайбу, вызывая ее качание. Таким образом, передающий узел с качающейся шайбой будет реализовать принцип фрикционно-планетарной шариковой передачи, в которой планетарное движение шарика преобразуется в качающееся движение шайбы или наоборот. Наклон дорожек качения друг к другу будет обеспечивать автоматическую регулировку нажатия на шарик, т.к. при увеличении нагрузки или износе шарика и дорожек качения шарик сместится по азимуту в область меньшего расстояния между дорожками качения.

Для расширения диапазона передаточных отношений профили поперечного сечения дорожек качения целесообразно выполнить такой формы, чтобы зоны контакта тела качения с дорожками находились на разном расстоянии от оси вращения тела качения.

Передающий узел с качающейся шайбой по изобретению можно выполнить в двух конструктивных модификациях: дисковой и коаксиальной. В первой модификации тела вращения выполнены в виде дисков, один из которых качается относительно другого. Кольцевые замкнутые дорожки выполнены на обращенных друг к другу плоских поверхностях дисков и находятся в контакте с одним телом качения, расположенным между дорожками качения. Для выполнения условия наклона дорожек качения друг к другу под углом, меньшим угла самозаклинивания тел качения, угол наклона качающейся шайбы к оси передающего узла должен лежать в пределах 0,2-15 градусов. Тело качения в этом узле само устанавливается в том месте окружности дорожек качения, где расстояние между ними соответствует размеру тела качения.

Для тела качения - шарика боковые стенки дорожки качения любого из дисков целесообразно выполнить упруго подвижными относительно друг друга. При этом радиус кривизны поперечного сечения дорожки качения становится изменяемым, и при изменении нагрузки точка контакта шарика с дорожкой качения будет смещаться

от оси вращения шарика. Т.е. получим передающий узел с автоматически изменяющимся передаточным отношением в зависимости от нагрузки.

В коаксиальной модификации передающего узла тела вращения выполнены в виде охватывающих друг друга обоймы и качающейся шайбы, с боковыми обращенными друг к другу поверхностями в виде сферического пояса с центром сферы в центре прецессии качающейся шайбы. В общем случае каждая из дорожек качения на качающейся шайбе и обойме выполнена в виде системы параллельных друг другу замкнутых кольцевых канавок, лежащих в плоскостях, перпендикулярных оси вращения соответствующей детали. Телами качения служат шарики, расположенные в местах пересечения канавок качающейся шайбы с канавками обоймы.

В частных случаях система канавок качающейся шайбы может быть представлена одной канавкой, выполненной по экваториальной линии качающейся шайбы и пересекающейся с одной или несколькими канавками на обойме. Одна канавка на обойме смещена от линии большого круга сферы на расстояние, равное половине размаха качающейся шайбы и зацепляется с канавкой качающейся шайбы одним шариком.

Для получения уравновешенной относительно оси обоймы системы шариков на обойме выполнены две кольцевые канавки, расположенные по разные стороны от большого круга сферы на расстоянии от него, равном половине размаха качающейся шайбы. Кольцевые канавки обоймы зацепляются с канавкой на качающейся шайбе двумя диаметрально расположенными шариками. Такая же уравновешенная система шариков получится, если на обойме выполнить одну канавку по линии большого круга сферы, и в двух диаметрально противоположных точках пересечения этой канавки с канавкой качающейся шайбы разместить два шарика.

Возможно объединение двух вышеописанных вариантов в одной конструкции. На обойме тогда будет три канавки, одна - по линии большого круга сферы и две по разные стороны от нее на расстоянии половины размаха качающейся шайбы. В зацеплении будут находиться четыре попарно диаметральных шарика, расположенных на перпендикулярных друг к другу диаметрах.

Возможно сочетание одной канавки в экваториальной плоскости обоймы с двумя канавками на качающейся шайбе, разнесенными от экваториальной линии шайбы на расстояние, равное половине размаха качающейся шайбы.

Канавки на обойме могут быть выполнены на отдельных и независимо вращающихся кольцевых элементах обоймы.

Не следует забывать, что все вышеописанные шариковые фрикционно-планетарные узлы работают только при выполнении условия, накладываемого на угол наклона дорожек друг к другу. Невыполнение этого условия приведет к проскальзыванию шариков, т.е. к нарушению их фрикционной связи с дорожками качения, и нарушению передачи момента.

Второй вариант изобретения реализован на передающих узлах с качающейся шайбой с периодическими дорожками качения. Для достижения указанного технического результата такой передающий узел, как и прототип, содержит охватывающие друг друга обойму и качающуюся шайбу. Их боковые сопрягаемые поверхности выполнены в форме сферического пояса с центром сферы в центре прецессии качающейся шайбы. В экваториальной области сферического пояса на обращенных друг к другу поверхностях обоймы и качающейся шайбы выполнены периодические по азимуту дорожки качения, по меньшей мере, одна из которых выполнена замкнутой и волнообразно изогнутой в осевом направлении. Дорожки зацепляются друг с другом посредством цепочки шариков, расположенных в местах пересечения дорожек качения. В отличие от прототипа, дорожки в месте контакта с шариками имеют друг к другу наклон, меньший или равный углу самозаклинивания шариков. Это условие выполняется, если угол α наклона фронта периодической дорожки качения к экватору на качающейся шайбе и соответствующий угол β на обойме связаны с углом γ наклона качающейся шайбы соотношениями:

$$\alpha - \beta - \gamma \leq 10^\circ, \text{ при } \alpha \geq \beta, \quad (1)$$

$$\beta - \alpha + \gamma \leq 10^\circ, \text{ при } \alpha < \beta, \quad (2)$$

Углы α и β зависят от числа периодов и амплитуды дорожек качения. Амплитуды, в свою очередь, связаны с углом наклона качающейся шайбы. В любом случае, варьируя этими величинами, можно добиться выполнения условий (1) и (2).

По сравнению с прототипом в нашем случае изменяется и условие выбора чисел периодов дорожек качения. Число шариков n может быть любым. Однако при небольшом количестве шариков (в пределах одного - двух десятков) для получения уравновешенной системы шариков желательно, чтобы число шариков было четным. Число периодов дорожек качения N_1 и N_2 на качающейся шайбе и обойме связаны с числом шариков n соотношениями: $N_1 = kn \pm 1$; $N_2 = qn \pm 1$, где k и q - целые числа или числа вида $1/m$, где m - число, на которое число шариков делится без остатка. Расширение диапазона возможных чисел N_1 и N_2 , не только обеспечивает расширение диапазона передаточных отношений для одного узла с определенным числом шариков, но и увеличивает число комбинаций периодов дорожек качения, при которых выполняется условие самозаклинивания шариков. Здесь уместно заметить, что описанный выше фрикционно-планетарный передающий узел коаксиальной

конфигурации является, по сути, частным случаем с числом периодов дорожки качения на качающейся шайбе $N_1=0$ и с числом периодов на обойме $N_2=1$.

Периодические дорожки качения на обеих деталях могут быть замкнутыми волнообразно изогнутыми. Дорожку качения на одной из деталей можно выполнить незамкнутой, в виде системы разнесенных по окружности канавок, вытянутых по меридианам сферы.

Для увеличения функциональных возможностей передающего узла обойма разрезана по средней линии изогнутой дорожки качения, образуя два независимо вращающихся элемента обоймы. Дорожка качения на каждом из элементов представляет собой систему полуовалов, выполненных с разным числом периодов.

Дифференциальный преобразователь скорости на основе описанных передающих узлов содержит три вала. Качающаяся шайба передающего узла связана с одним из валов механизмом для независимого преобразования ее качающегося движения во вращение вала и наоборот, со вторым из валов механизмом передачи ее вращения относительно наклонной оси независимо от ее качающегося движения. С третьим валом непосредственно связано второе тело вращения передающего узла.

Для шариковых фрикционно-планетарных передающих узлов в дисковой конфигурации механизм для преобразования качающегося движения шайбы во вращение вала и наоборот выполнен в виде торцового кулачка, взаимодействующего с качающимся диском через подшипник, а второй вал является корпусом передачи и связан с качающейся шайбой устройством предотвращения ее вращения.

Для передающих узлов коаксиального исполнения целесообразно все валы выполнить соосными и полыми, образуя коаксиальную конструкцию из обойм в виде подшипникового узла.

Преобразователь с передающим узлом, у которого обойма состоит из независимо вращающихся элементов, снабжен дополнительными валами, которые непосредственно связаны с этими элементами.

Механизмом для независимого преобразования качающегося движения шайбы во вращательное движение первого вала, и наоборот, может служить кривошипный вал, на который качающаяся шайба посажена через подшипник. Механизмом преобразования качающегося движения во вращательное может служить и любой из фрикционно-планетарных шариковых передающих узлов коаксиального исполнения, реализованный на той же качающейся шайбе со стороны, противоположной основному передающему узлу. Тогда первым валом преобразователя будет являться обойма фрикционно-планетарного узла.

Механизм независимой передачи вращения качающейся шайбы ко второму валу может быть выполнен в виде крестовины, системы гибких тяг или шарниров, в виде универсального шарнира или конической зубчатой передачи.

Передающие узлы коаксиального исполнения позволяют без значительного увеличения габаритов создавать двухступенчатые преобразователи скорости. Ступени могут быть расположены последовательно вдоль одной оси или охватывая друг друга (коаксиальное исполнение двухступенчатого преобразователя). Двухступенчатый преобразователь коаксиального исполнения, в свою очередь, может быть выполнен в двух вариантах.

По первому варианту передающие узлы обеих ступеней используют одну и ту же качающуюся шайбу. Для этого на качающейся шайбе первого передающего узла со стороны, противоположной этому узлу, komponуется передающий узел второй ступени, т.е. образуется система из последовательно охватывающих друг друга трех элементов: обоймы, качающейся шайбы и обоймы. Второй передающий узел в этом случае одновременно выполняет функцию механизма передачи вращательного движения качающейся шайбы к валу преобразователя, связанному непосредственно с обоймой передающего узла второй ступени. В качестве механизма преобразования качающегося движения шайбы во вращательное и наоборот могут использоваться не все вышеописанные средства, так как некоторые из них используют вторую боковую поверхность качающейся шайбы, которая в данном случае занята вторым передающим узлом. Для этого преобразователя разработан специальный механизм, представляющий собой два полых вала, введенных на подшипниках между внутренней и наружной обоймами преобразователя с противоположных торцов. Каждый из валов выполнен с одинаковым косым кривошипом. Качающаяся шайба посажена на оба кривошипных вала с помощью подшипников. Полые валы могут быть выполнены и с торцовыми кулачками, взаимодействующими с торцами качающейся шайбы через упорные подшипники.

По второму варианту двухступенчатый преобразователь komponуется из двух охватывающих друг друга отдельных передающих узлов. Качающиеся шайбы обоих узлов обращены друг к другу. Механизм преобразования качающегося движения каждой из шайб во вращательное представляет собой полый вал, введенный между качающимися шайбами обеих ступеней и имеющий на боковых поверхностях, обращенных к качающимся шайбам, элементы, вызывающие прецессию шайб. Такими элементами могут служить косые кривошипы с одинаковым или противоположным наклоном, на которые через подшипники посажены качающиеся шайбы. При одинаковом наклоне косых кривошипов шайбы качаются синхронно, при противоположном - в противофазе. Элементы, вызывающие прецессию шайб,

можно выполнить и по-другому. На обращенных друг к другу боковых поверхностях в каждой паре полый вал - качающаяся шайба, выполнены кольцевая канавка и кольцевой выступ, сопрягающиеся друг с другом посредством двух диаметрально противоположных шариков. Шарик расположен между стенками канавки и выступом с противоположных сторон от последнего. Шайбы обеих ступеней связаны друг с другом узлом передачи вращения, так что передающий узел второй ступени одновременно выполняет функцию механизма передачи вращательного движения качающейся шайбы к валу, непосредственно связанному с обоймой передающего узла второй ступени.

Двухступенчатый преобразователь скорости может быть выполнен из двух передающих узлов коаксиальной конфигурации, расположенных последовательно друг за другом вдоль одной оси. В этом случае качающиеся шайбы обеих ступеней связаны узлом передачи вращения между параллельными валами, а механизмы преобразования качающегося движения шайб во вращение вала могут быть выполнены так же, как и для одноступенчатого преобразователя, и должны обеспечивать синхронную прецессию шайб. В результате, качающиеся шайбы во время прецессии параллельны друг другу. Такой преобразователь при внешней схожести с двухступенчатым преобразователем по патенту US №5443428, принципиально отличается от него тем, что периодические дорожки качения на обеих качающихся шайбах расположены в экваториальной области. То есть, цепочки шариков обеих ступеней участвуют в прецессии относительно точки, лежащей в плоскости цепочки шариков и в их движении отсутствует нутрирующая компонента. Это значительно упрощает требования к форме и точности выполнения дорожек качения для полного устранения шума и вибраций.

Узел передачи вращения между параллельными валами может быть выполнен по любой из известных схем. Хорошо подходит для этих целей механизм с параллельными кривошипами. Наиболее предпочтительным с точки зрения уменьшения потерь на трение является механизм с параллельными кривошипами с шариковым зацеплением, как, например, в патентах US №4829851 или US №4643047. Этот же узел может быть выполнен и в виде вала, с которым каждая из качающихся шайб связана крестовиной. Для последнего преобразователя разработан оригинальный механизм для преобразования качающегося движения шайб во вращательное движение и наоборот. Он представляет собой обойму, расположенную по оси между ступенями преобразователя и снабженную наружным кольцевым выступом. Обойма выполнена с двумя косыми параллельными кривошипами, на которых с помощью подшипников посажены качающиеся шайбы. Кольцевой выступ выступает за пределы внешних обоев обоих передающих узлов преобразователя и его наружный венец выполнен как элемент червячной, конической зубчатой или фрикционной передачи. Такой механизм передает качающееся движение шайб к валу, ось которого перпендикулярна к общей оси передающих узлов. То есть преобразователь скорости предназначен для передачи вращения между скрещивающимися валами.

Двухступенчатый преобразователь скорости с последовательным расположением ступеней можно выполнить с шайбами, качающимися в противофазе. В этом случае качающиеся шайбы обеих ступеней связаны механизмом передачи вращения между наклонными валами, а механизм передачи качающегося движения обеспечивает противофазную прецессию шайб.

Следует отметить, что преобразователи скорости, выполненные по изобретению, эффективны только при небольших углах γ наклона качающейся шайбы. В противном случае, для передачи вращения между деталями, наклоненными друг к другу под большими углами, потребуется механизм, который значительно снизит эффект от отсутствия проскальзывания шариков в самом передающем узле. В то же время, для некоторых вариантов передающего узла угол γ для выполнения соотношений (1) и (2) может оказаться достаточно большим. Обойти это противоречие позволяет передающий узел с качающейся шайбой, в котором обе обоймы являются качающимися шайбами. В этом случае в соотношениях (1) и (2) под углом γ следует понимать угол наклона шайб друг к другу. В то же время каждая из шайб имеет наклон к оси передающего узла в два раза меньший. Соответственно уменьшается и угол в механизме передачи вращения.

Такой передающий узел может быть положен в основу множества различных схем дифференциальных преобразователей скорости с разными функциональными возможностями. В общем случае дифференциальный преобразователь скорости содержит по меньшей мере три соосных полых вала, образующих коаксиальную конструкцию из обоев в виде подшипникового узла, а также передающий узел с двумя качающимися шайбами. Качающиеся шайбы связаны с одним из валов механизмом независимого преобразования качающегося движения во вращательное и наоборот, а с другими двумя валами шайбы связаны узлами передачи вращения между наклонными валами.

Прецессию качающихся шайб можно возбуждать в противофазе. Преобразователь скорости в этом случае будет работать аналогично преобразователю с одной качающейся шайбой, только угол наклона между шайбами, определяющий угловые характеристики дорожек качения, будет равен сумме углов прецессии каждой из шайб.

Такая модификация позволяет уменьшить угол прецессии каждой качающейся шайбы при сохранении прежнего угла наклона шайб друг к другу. Это упрощает требования к механизмам преобразования качающегося движения шайб во вращательного движение вала и улучшает условия их работы. В то же время, уменьшение угла прецессии, т.е. угла наклона каждой шайбы к оси преобразователя, упрощает требования к узлам передачи вращения между наклонными валами и позволяет им передавать более высокий момент при прочих равных условиях.

Механизм преобразования качающегося движения шайб в этом случае может быть выполнен в виде двух коаксиальных связанных друг с другом полых валов, один из которых расположен снаружи внешней качающейся шайбы, а второй внутри внутренней качающейся шайбы. В каждой паре полый вал - качающаяся шайба на их обращенных друг к другу боковых поверхностях выполнены дорожка качения и кольцевой выступ, сопрягающиеся друг с другом посредством двух диаметрально противоположных шариков, расположенных между стенками канавки и выступом с противоположных сторон от последнего. Шарiki в каждой паре расположены так, что шайбы имеют противоположный наклон.

Такого же результата можно добиться, если на обращенных к качающимся шайбам поверхностях связанных друг с другом полых валов выполнить косые кривошипные с противоположным наклоном, взаимодействующие с качающимися шайбами через подшипники.

Для расширения функциональных возможностей преобразователя механизм преобразования качающегося движения шайб во вращение вала целесообразно выполнить из двух отдельных, независимых друг от друга элементов, каждый из которых связан с отдельным валом преобразователя. Полученный преобразователь будет иметь дополнительный входной вал. При равенстве фаз и скоростей прецессии качающихся шайб (т.е. двух входных скоростей) на выходе механизма получим нулевую скорость. При противоположном направлении входных скоростей, либо при противоположной фазе прецессии механизм будет работать как преобразователь скорости с двумя входами и двумя выходами с разным соотношением скоростей на них.

Краткое описание фигур чертежей.

Изобретение иллюстрируется графическими материалами, где на фиг.1 схематически представлен шариковый фрикционно-планетарный передающий узел в дисковой модификации, а на фиг.2 - схема, иллюстрирующая в развертке взаимодействие дорожек качения и шариков для этого узла. Фиг.3, 4, 5 и 6 показывают различное выполнение профиля дорожек качения для расширения диапазона передаточных отношений. На фиг.7 дан в сечении общий вид преобразователя скорости с таким передающим узлом.

Фиг.8-19 иллюстрируют различные конструктивные варианты шарикового фрикционно-планетарного передающего узла в коаксиальном исполнении, причем на фиг.8, 10, 12, 14, 16, 18 дан общий вид вариантов передающего узла, а на фиг.9, 11, 13, 15, 17 и 19 представлены схемы взаимодействия их дорожек качения с шариками.

На фиг.20 изображено осевое сечение передающего узла с периодическими дорожками качения, а на фиг.21 - схема, иллюстрирующая связь угла наклона качающейся шайбы, углов наклона фронтов периодических дорожек качения и угла между дорожками качения в месте контакта с шариком. На фиг.22-27 в боковой развертке представлены схемы взаимодействия дорожек качения и шариков для разных вариантов передающего узла с периодическими дорожками качения. Схемы на фиг.22 и 23 иллюстрируют возможность выполнения углового условия выбором числа периодов дорожек качения при одинаковом угле наклона качающейся шайбы и одинаковых амплитудах дорожек качения. Схемы на фиг.24 и 25 показывают, что можно выполнить угловое условие, изменяя амплитуду дорожек качения при неизменности числа периодов. И, наконец, на схемах 26 и 27 показано, как можно добиться выполнения углового условия, изменяя угол наклона качающейся шайбы. На фиг.28 и 29 представлены соответственно осевое сечение и схема взаимодействия дорожек качения с шариками для передающего узла, в котором одна из периодических дорожек качения выполнена прерывистой, в виде разнесенных по окружности меридиональных канавок. На фиг.30 и 31 показано осевое сечение и схема взаимодействия звеньев передающего узла с обоймой из двух отдельных элементов.

На фиг.32, 33, 34, 35 в осевом сечении показаны дифференциальные преобразователи скорости с коаксиальным передающим узлом, отличающиеся друг от друга механизмами преобразования качающегося движения шайбы во вращение вала и узлами передачи вращения качающейся шайбы независимо от ее качающегося движения (узлами передачи вращения между наклонными валами).

На фиг.36, 37 изображен двухступенчатый преобразователь с передающими узлами ступеней, реализованных на одной качающейся шайбе. Преобразователи отличаются друг от друга только выполнением механизма преобразования качающегося движения шайбы во вращение вала.

Двухступенчатые преобразователи на фиг.38 и 39 состоят из двух охватывающих друг друга передающих узлов и отличаются друг от друга механизмом преобразования качающегося движения во вращение вала.

Фиг.40, 41, 42, 43 - это различные модификации двухступенчатого преобразователя с последовательным расположением ступеней.

На фиг.44 схематически представлен передающий узел с двумя качающимися шайбами, а на фиг.45, 46, 47 - принципиальные схемы вариантов преобразователей на основе этого передающего узла.

Следует отметить, что все разновидности конструкций преобразователя, соответствующие изобретению, не ограничиваются приведенными чертежами.

Варианты осуществления изобретения.

Передающий узел на фиг.1 содержит два тела вращения 1 и 2, выполненные в виде дисков, с кольцевыми замкнутыми дорожками качения 3 и 4 на обращенных друг к другу поверхностях. Диск 2 выполнен с возможностью прецессии. Для этого его ось вращения OO' наклонена к оси CC' передающего узла, и диск 2 вращается вокруг собственной оси вращения OO' , а также качается относительно оси CC' независимо от вращения, т.е. диск 2 является качающейся шайбой. В контакте с дорожками качения 3 и 4 находится тело качения 5, в данном случае шарик. На фиг.2 показана схема взаимодействия шарика 5 с дорожками качения 3 и 4. Цифрами 6 и 7 обозначены линии движения центра шарика 5 относительно дисков 1 и 2. Угол γ наклона качающейся шайбы 2 к диску 1 выбирается таким, чтобы угол ϕ между дорожками качения 3 и 4 в месте контакта с шариком 5 не превышал угла самозаклинивания шарика. Самозаклинивание тел качения широко применяется в, так называемых, обгонных муфтах или муфтах свободного хода (см., например, Поляков В.С., Барабаш И.Д. Муфты. Л.: Машиностроение, 1973, с.225). Под углом самозаклинивания понимается угол между двумя поверхностями, при котором тело качения за счет фрикционных сил закатывается в узкую часть клина и зажимается между поверхностями. Угол самозаклинивания тел качения зависит от коэффициентов трения тела качения относительно дорожек качения, которые, в свою очередь, зависят от материала и качества обработки поверхности тел и дорожек качения. Как показали наши исследования, угол (целесообразно выбирать из диапазона 0,1-10 градусов. Однако в отдельных случаях, например, для тел качения из упругого материала, или для дорожек качения с фрикционным покрытием он может составлять и 15-17 градусов. При вращении одного из дисков (для примера, диска 1) относительно другого шарик 5 будет закатываться в узкую часть клина между дорожками 3 и 4. В отличие от обгонной муфты, заклинивания шарика в нашем передающем узле не произойдет, так как шайба 2 и шарик 5 имеют по две степени свободы. Под действием давления шарика 5 на дорожку 4 шайба 2 начнет качаться. Перемещение центра шарика по орбите происходит со скоростью, в два раза меньшей, чем скорость точки на поверхности шарика в месте его контакта с дорожкой 3. Планетарное движение шарика вызовет качающееся движение шайбы, которое будет происходить с угловой скоростью, в два раза меньшей входной скорости вращения, т.е. передаточное отношение узла составляет 2:1. Наклонное положение качающейся шайбы 2 приводит к тому, что шарик 5 оказывается постоянно прижатым к поверхности дорожек качения 3 и 4 без дополнительных прижимных механизмов, которые необходимы в обычных шариковых фрикционно-планетарных передающих узлах. При увеличении нагрузки или износе дорожек качения шарик 5 проскальзывает в более узкую часть клина между дорожками 3 и 4, и прижимное усилие автоматически увеличивается. Таким образом, передающий узел работает без проскальзывания шарика, т.к. скорость планетарного перемещения шарика 5 по орбите согласована со скоростью его вращения относительно собственной оси. Угол (наклона качающейся шайбы связан с углом ϕ между дорожками качения соотношением: $\tan \gamma = \pi / 2 \tan \phi$, т.е. при выборе угла (из диапазона 0,1-10 градусов, угол наклона качающейся шайбы следует выбирать в диапазоне 0,2-15 градусов.

Как и в обычной шариковой фрикционно-планетарной передаче, в предлагаемом узле можно увеличить диапазон передаточных отношений, изменяя эффективные радиусы качения R_1 и R_2 тела качения 5 по дорожкам 3 и 4 (см. фиг.3, 4 и 5). Для этого профили поперечного сечения дорожек 3 и 4 выполняются такими, чтобы радиусы качения шарика R_1 и R_2 по дорожкам 3 и 4 были не одинаковы. Передаточное отношение i_{12} от диска 1 к диску 2 составляет $i_{12} = R_1 / R_2$. Фиг.5 иллюстрирует случай, когда разница возникает при выполнении тела качения в виде ступенчатого ролика, контактирующего с дорожками качения 3 и 4 ступенями 6 и 7 с разным диаметром. Фиг.6 показывает, как можно сделать передающий узел с автоматической регулировкой величины передаваемого момента. Внешняя кольцевая часть любого из дисков (в данном случае диска 1) с дорожкой качения на ней, выполняется так, что боковые стенки 8 дорожки качения упруго подвижны относительно друг друга. Другими словами, дорожка качения в сечении может изменять радиус кривизны. На фиг.6 подвижность боковых стенок 8 дорожки обеспечивается двумя кольцевыми пережимами 9. При увеличении нагрузки на выходном валу шарик 5 перемещается по окружности в более узкую часть клина между дорожками качения, отжимая при этом стенки 8 дорожки качения 3 друг от друга. Точка контакта шарика с дорожкой 3 перемещается из точки В к точке С, увеличивая эффективный радиус качения R_1 шарика 5 по дорожке 3. Это увеличение вызовет увеличение передаточного

отношения и передаваемого момента.

Дифференциальный преобразователь скорости с дисковым фрикционно-планетарным узлом (см. фиг.7) содержит вал 10, жестко связанный с телом вращения 1, и вал 11, связанный с качающейся шайбой 2 механизмом преобразования ее качающегося движения во вращение вала 11. Этот механизм в данном случае представляет собой торцевой кулачок 12, взаимодействующий с качающейся шайбой 2 через подшипник 13. Третьим звеном в преобразователе служит корпус, образованный двумя фланцами 14 и 15. Качающаяся шайба 2 связана с корпусом 14 узлом, предотвращающим ее вращение, при сохранении качающегося движения. Этот узел представляет собой стержни 16 проходящие сквозь отверстия в периферийной кольцевой части 17 качающейся шайбы 2. Стержни 16 стягивают фланцы 14 и 15 между собой. Отверстия для стержней 16 в качающейся шайбе имеют размеры, допускающие перекосы при качающемся движении шайбы. Валы 10 и 11 посажены в корпусных фланцах 14 и 15 с помощью подшипников 18 и 19.

Передающий фрикционно-планетарный узел коаксиальной модификации содержит обойму 20 и качающуюся шайбу 21, которые охватывают друг друга. На фиг.8, 10 и 12 изображены передающие узлы, в которых качающаяся шайба 21 охватывает обойму 20 снаружи. Следует отметить, что вполне работоспособна обращенная компоновка узлов, когда качающаяся шайба 21 размещена внутри обоймы 20. Сопрягающиеся боковые поверхности 22 и 23 обоймы 20 и шайбы 21 выполнены в виде сферического пояса с центром сферы (точка С) в центре симметрии обеих деталей. Качающаяся шайба 21 установлена с возможностью прецессии относительно точки С. На сопрягающихся боковых поверхностях 22 и 23 выполнены дорожки качения 24 и 25. Дорожка 25 на качающейся шайбе 21 представляет собой кольцевую канавку, выполненную по экваториальной линии сферической поверхности качающейся шайбы. Дорожка 24 - это кольцевая канавка, сдвинутая от экваториальной линии сферической поверхности 22 на расстояние, равное половине размаха качающегося движения шайбы 21. Обе канавки в поперечном сечении имеют форму полукруга, и в месте их пересечения расположен шарик 26, находящийся в постоянном контакте с обеими кольцевыми канавками. Цифрами 27 и 28 обозначено местоположение средних линий канавок 24 и 25 в боковой развертке.

В другой модификации этого передающего узла (фиг.10) на обойме 20 выполнены две симметричные параллельные кольцевые канавки 24 и 29, расположенные по обе стороны от экватора на расстоянии от него, равном половине размаха качающейся шайбы 21. В местах пересечения канавок 24 и 29 с канавкой 25 на качающейся шайбе 21 расположены два шарика 26 и 30. В схеме на фиг.11 цифрой 31 обозначена средняя линия канавки 29.

На фиг.12 канавка 32 на обойме 20 расположена по ее экватору и зацепляется с канавкой 25 на качающейся шайбе двумя диаметрально противоположными шариками 33, расположенными в местах пересечения дорожек 32 и 25. На фиг.13 это точки пересечения средних линий 28 и 34 канавок 25 и 32.

Узел на фиг.14 объединяет два предыдущих варианта. Здесь на обойме 20 выполнены три кольцевые канавки 24, 29 и 32, параллельные друг другу. Шарик 26, 30 и два шарика 33 расположены в канавках в местах их пересечения с канавкой 25 на качающейся шайбе. Здесь следует отметить, что канавок на обойме может быть и больше, главное, чтобы они были параллельны друг другу и лежали в плоскостях, перпендикулярных оси вращения обоймы 20, а шарик 26, 30 и шарик 33 должны быть расположены в местах пересечения этих канавок с канавкой 25 на качающейся шайбе. При этом шарик 33, который зацепляется с канавкой 32, выполненной по линии большого круга сферы, расположены по окружности кольцевых канавок диаметрально противоположно друг другу. Т.е. система шариков будет уравновешенной. Для остальных канавок шарик не будет уравновешивать друг друга, поэтому для каждой канавки, расположенной по одну сторону экватора на обойме, целесообразно выполнить симметричную ей канавку по другую сторону экватора.

На фиг.16 представлен вариант узла, в котором на качающейся шайбе выполнены две кольцевые канавки 35 и 36, расположенные по разные стороны от экваториальной линии шайбы и на расстоянии от нее, равном половине размаха качающейся шайбы. На обойме канавка 32 выполнена по линии большого круга сферической поверхности и зацепляется с канавками 35 и 36 двумя шариками 26 и 30, расположенными в местах пересечения средних линий 37 и 38 дорожек 35 и 36 со средней линией 34 дорожки 32.

В принципе, возможен вариант с системой канавок на качающейся шайбе и системой канавок на обойме. Он увеличивает количество шариков, взаимодействующих с телами вращения. Увеличение количества шариков распределяет силовые потоки на большее количество взаимодействующих элементов и увеличивает предельный момент, передаваемый узлом при прочих равных условиях.

Обойма 20 может быть выполнена из отдельных колец 39, 40, 41, на каждом из которых выполнена одна дорожка качения (см. фиг.18 и 19). Кольца могут вращаться вокруг общей оси независимо друг от друга. У такого передающего узла увеличивается число входных и выходных элементов, что расширяет его функциональные возможности. Особенности работы преобразователей с такими

передающими узлами будут рассмотрены ниже.

Передающий узел с качающейся шайбой с периодическими дорожками качения представляет собой две охватывающие друг друга обоймы 42 и 43. Обойма 43 выполнена с возможностью вращения вокруг оси BB_1 , наклонной к оси OO_1 передающего узла, и с возможностью прецессии относительно точки C , являющейся точкой пересечения осей. То есть, обойма 43 является качающейся шайбой. Боковые, обращенные друг к другу поверхности обоймы 42 и качающейся шайбы 43, выполнены в виде сферического пояса радиуса R , с центром сферы в точке C . На этих поверхностях в экваториальной области выполнены периодические по азимуту дорожки качения 44 и 45, зацепляющиеся друг с другом посредством цепочки шариков 46. Одна или обе дорожки качения представляют собой замкнутые периодически изогнутые в осевом направлении канавки полукруглого поперечного сечения. Угол γ наклона качающейся шайбы 43, а также формы периодических дорожек 44 и 45 выбраны такими, чтобы углы наклона дорожек друг к другу в месте соприкосновения их с телами качения 46 не превышали угла самозаклинивания тел качения. На фиг.21 схематически показаны фронты 47 и 48 дорожек качения 44 и 45. При одном полном качающемся движении шайбы 43 цепочка шариков 46 прецессирует вместе с качающейся шайбой, и каждый шарик, взаимодействуя с фронтом 48 волновой дорожки 45, перемещается по окружности относительно обоймы 42 на угол, соответствующий периоду дорожки качения 45. В то же самое время шарики 46 как кулачки давят на фронт 47 волновой дорожки 44 на обойме 42 и вызывают ее поворот относительно цепочки шариков 46 на угол, соответствующий периоду дорожки качения 44. Общий поворот одной из обойм относительно другой при полном цикле качающегося движения шайбы будет происходить на угол, равный сумме или разности этих поворотов, в зависимости от того, на какой фронт действуют шарики. Таким образом, передаточное отношение i узла определяется выражением:

$$1/i = 1/N_1 \pm 1/N_2, \quad (3)$$

где N_1 и N_2 - числа периодов дорожек качения 44 и 45. Выполнение углового условия обеспечивает нахождение каждого шарика в клиновидной щели между двумя наклонными поверхностями $S1$ и $S2$ с углом между ними, меньшим угла самозаклинивания шариков. При перемещении одной из них, например, при скольжении $S2$ относительно $S1$, (что соответствует качающемуся движению шайбы 43) шарики 46 закатываются в узкую часть клина между поверхностями $S1$ и $S2$ без проскальзывания и давят на фронт 47 волновой дорожки 44, заставляя ее поворачиваться, как это было описано выше. В то же время, возникающие при качении заклинивающегося шарика фрикционные силы взаимодействия его с одной из поверхностей заставляют ее поворачиваться относительно цепочки шариков. Так как цепочка шариков 46 и качающаяся шайба 43 имеют по две степени свободы, то обратное движение шариков по орбите и перемещения обойм под действием фрикционных сил и сил давления согласованы друг с другом, т.е. шарики будут катиться в волновых дорожках 44 и 45 без скольжения.

В заявке WO 008201043 в качестве условия чистого качения шарика принято выравнивание пути, проходимого шариком относительно дорожки 45 на качающейся шайбе 43 и относительно дорожки 44 на обойме 42. Однако это условие не является достаточным. При углах между дорожками качения в месте контакта с шариками больших, чем угол самозаклинивания шариков, (как это изображено на чертежах и схемах в заявке WO 008201043) шарик выскользнет из клина и будет удерживаться в месте пересечения дорожек только их противоположными стенками 49 и 50, т.е. шарик будет являться только кулачком. На фиг.21 область нахождения шарика в этом случае показана штриховкой. Очевидно, что в этом случае шарик будет обязательно проскальзывать относительно какой-либо из поверхностей (47, 48, 49 или 50), а наличие допустимой области, большей чем размеры шариков, вызовет их биения и повышенный износ.

Угол ϕ наклона дорожек качения друг к другу зависит от углов α и β наклона фронтов 47 и 48 дорожек качения 44 и 45 к экваториальной линии на обойме 42 и качающейся шайбе 43 соответственно и от угла наклона γ качающейся шайбы, и определяется как:

$$\phi = \alpha - \beta - \gamma, \text{ при } \alpha \geq \beta, \quad (4)$$

$$\text{или } \phi = \beta - \alpha + \gamma, \text{ при } \alpha < \beta \quad (5)$$

Как было показано выше, для обычных конструкционных материалов угол самозаклинивания лежит в пределах $0,1-10^\circ$, поэтому для угла ϕ должно выполняться условие $\phi < 10^\circ$; (6)

В общем случае углы α и β зависят от амплитуд изгиба и от числа периодов дорожек качения. Числа периодов N_1 и N_2 дорожек качения на обойме 42 и качающейся шайбе 43 связаны друг с другом, так как целое число периодов должно укладываться на одной и той же окружности радиуса R . В заявке WO 008201043 указано, что числа периодов дорожек качения должны отличаться от числа шариков на единицу, а друг от друга на 2, при этом число шариков должно быть кратным 4. Наши исследования показали, что число периодов N_1 и N_2 дорожек качения и число шариков n связаны соотношениями:

$$N_1 = kn \pm 1; N_2 = qn \pm 1, \quad (7)$$

где k и q - целые числа или числа вида $1/m$, где m - число, на которое число шариков делится без остатка. Число шариков, как уже было сказано ранее, может быть любым.

Таким образом, в нашем случае из всего многообразия сочетаний чисел N_1 и N_2 , удовлетворяющих условию (7), следует выбрать такие, при которых выполняется неравенство (6). Фиг.22 и 23 иллюстрируют возможность изменением N_1 и N_2 добиться уменьшения угла ϕ . Цифрами 51 и 52 обозначены средние линии дорожек качения 44 и 45 на обойме 42 и качающейся шайбе 43 соответственно. 53 - это линия, по которой перемещается точка на поверхности качающейся шайбы при ее прецессии. Цифрой 54 показана траектория перемещения шариков 46. Амплитуда дорожек качения и угол наклона качающейся шайбы 43 на обеих фигурах одинаковы. В первом случае при $N_1=3$, $N_2=13$ и $p=4$ углы между дорожками качения, по крайней мере, в двух местах расположения шариков 46 превышают углы самозаклинивания. На фиг.23 средние линии дорожек качения 51 и 52 во всех местах расположения шариков 46 пересекаются под углами, меньшими, чем угол самозаклинивания. Числа периодов дорожек качения и число шариков составляют соответственно 3, 9 и 4.

Регулировать угол ϕ можно также изменением амплитуд дорожек качения, либо изменяя угол наклона качающейся шайбы при одном и том же числе периодов дорожек качения. Эти ситуации иллюстрируют фиг.24, 25, 26 и 27. На фиг.24 и 25 показаны средние линии 51 и 52 дорожек качения с числом периодов 15 и 9 и числом шариков 8. Минимальный из углов пересечения дорожек качения на первой из фигур превышает 10 градусов, т.е. больше угла самозаклинивания. На фиг.25, при уменьшении амплитуды A_1 изгиба дорожки качения на обойме 42 максимальный из углов пересечения дорожек не превышает угла самозаклинивания. В этом случае все шарики 46 будут работать в режиме самозаклинивания, т.е. без скольжения. Фиг.26 и 27 отличаются друг от друга только углом наклона γ качающейся шайбы 43. Очевидно, что в передающем узле по схеме 27 выполняется условие (4), и шарики будут двигаться без проскальзывания.

Дорожка качения на одной из обойм может быть незамкнутой. На фиг.28 изображен передающий узел, у которого периодическая дорожка качения на обойме 42 выполнена в виде системы разнесенных по окружности отрезков канавок 55, расположенных вдоль меридианов сферической поверхности. На фиг.29 так же, как и на предыдущих схемах, цифрами 51 и 52 обозначены средние линии соответствующих дорожек качения. Очевидно, что такой передающий узел будет работать без проскальзывания шариков 46 при очень крутом фронте изгиба дорожки качения 45 и малых углах наклона качающейся шайбы 43, так как соответствующее условие в этом случае трансформируется в выражение $\phi=90^\circ-\alpha+\gamma<10$. При этом не для всех шариков 46 будет выполняться условие чистого качения. Для шариков, находящихся в точках Е и F, условие самозаклинивания невыполнимо ни при каких значениях α , β или γ . Таким образом, в отличие от утверждения в описании заявки WO 008201043, что узел с меридиональными канавками на охватывающей детали будет работать без проскальзывания, мы утверждаем, что отдельные шарики в этой конструкции будут проскальзывать в любом случае. Если незамкнутая дорожка качения выполнена на качающейся шайбе 43, а замкнутая дорожка на обойме 42, то соответствующее угловое условие: $\phi=90^\circ-\beta-\gamma<10$ расширяет возможности для выбора углов β и γ , однако рассуждения о проскальзывании шариков в точках Е и F остаются в силе и для этого случая.

В передающем узле на фиг.30 цепочка шариков 46 взаимодействует одновременно с тремя периодическими дорожками качения. Дорожка 45 на качающейся шайбе 43 незамкнутая и представляет собой разнесенные по окружности отрезки канавок. Обойма выполнена из двух отдельных независимо вращающихся частей, представляющих собой состыкованные торцами обоймы 56 и 57 одинакового диаметра. На внутренней боковой поверхности обойм по окружности их торцевого контакта выполнены периодические дорожки 58 и 59, имеющие разные периоды. На схеме фиг.31 средние линии дорожек 58 и 59 обозначены цифрами 60 и 61. Цифрой 52 обозначена средняя линия периодической дорожки качения 45 на качающейся шайбе 43. В данной модификации передающего узла эта дорожка качения выполнена прерывистой. Очевидно, что не все шарики 46 будут взаимодействовать с обоймами 56 и 57 одновременно. Шарики, расположенные слева и справа от зоны I на фиг.31 будут взаимодействовать с обоймой 56, а шарики в зоне I - с обоймой 57. Передаточное отношение узла зависит от соотношения чисел периодов всех трех дорожек качения, что расширяет диапазон его изменения.

Рассмотрим теперь преобразователи скорости с вышеописанными передающими узлами. Преобразователь на фиг.32 реализован на передающем узле с замкнутыми периодическими дорожками качения на обойме 42 и качающейся шайбе 43. Он содержит три соосных полых вала 62, 63 и 64. Вал 62 связан с качающейся шайбой 43 механизмом преобразования вращения вала 62 в качающееся движение шайбы 43. Он представляет собой кольцевой выступ 65 на наружной боковой поверхности вала 62, сопрягающийся с кольцевой канавкой 66 на качающейся шайбе 43. Между противоположными стенками канавки 66 диаметрально противоположно друг другу и с разных сторон от кольцевого выступа 65 расположены два шарика 67. При

вращении вала 62 шарики 67 катятся каждый по своей дорожке, образованной кольцевым выступом 65 и противоположными стенками канавки 66, вызывая качающееся движение шайбы 43. Механизм работает и в обратном направлении, т.е. качание шайбы вызовет вращение вала 62. Следует отметить, что в отличие от торцового кулачка в заявке WO 8201043, который передает усилие только в один полупериод качания шайбы, описанный выше механизм работает в оба полупериода. Вал 63 связан с качающейся шайбой 43 механизмом передачи ее вращения независимо от качающегося движения. В данной конструкции этот механизм представляет собой коническую зубчатую передачу 68. Третий вал преобразователя является непосредственно обоймой передающего узла с дорожкой качения 44 на его боковой поверхности. Полый вал 64 посажен на вал 62 с помощью подшипника 69. Вал 63 центрирован между валами 62 и 64 подшипниками 70 и 71. Цифрой 72 обозначен тонкостенный сепаратор, который необходим в отдельных передающих узлах для удержания шариков на одинаковом угловом расстоянии друг от друга в тех местах, где касательные к дорожкам качения в месте их пересечения параллельны (в точках В и D на фиг.23, 25 и 27). Сепаратор повторяет форму сопрягающихся поверхностей, т.е. также представляет собой сферический пояс. Гнезда сепаратора 72 образованы сквозными отверстиями. Здесь следует отметить, что сепаратор является необходимым элементом только для отдельных вариантов изготовления передающего узла. В частности, сепаратор не нужен для передающих узлов с высоким передаточным отношением и с высокой точностью изготовления дорожек качения. Преобразователь представляет собой дифференциальный механизм с двумя входами и одним выходом. В режиме редуктора входом является вал 62, один оборот которого вызывает одно полное качание шайбы 43. Если при этом один из валов 63 или 64 закрепить неподвижно, т.е. соединить с корпусом приводного механизма, то другой вал будет выходным. Если же один из валов 63 или 64 вращать со скоростью, отличающейся от скорости входного вала, то выходная скорость будет зависеть от соотношения скоростей на входах. В режиме мультипликатора входным должен быть любой из валов 63 или 64.

Рассмотрим работу преобразователя в режиме редуктора. Для определенности пусть с корпусом будет соединен вал 64. Входным валом является вал 62, при вращении которого шарики 67 вовлекаются в обкатное движение по орбите и вызывают прецессию шайбы 43. Т.к. в передающем узле преобразователя обойма 42 неподвижна, то взаимодействие шариков 46 с дорожками качения 44 и 45 вызовет вращение шайбы 43 с передаточным отношением, определяемым выражением (3). Вращение шайбы через коническую зубчатую передачу 68 передается к выходному валу 63. Поскольку передающий узел преобразователя работает в условиях чистого качения шариков, то потери на трение, шум и износ минимальны. Следует отметить, что преобразователь с фрикционно-планетарным узлом будет работать так же, изменится только его передаточное отношение. В схеме преобразователя с передаточными узлами, выполненными в соответствии с фиг.18 или 30, появляются дополнительные валы, непосредственно связанные с элементами обоймы. При этом увеличивается число возможных режимов работы преобразователя.

В конструкции преобразователя на фиг.33 вал 63 является корпусной деталью и образован двумя фланцами 73 и 74, связанными друг с другом и корпусом. Качающаяся шайба 43 связана с фланцами 73 и 74 двумя торцевыми зубчатыми передачами 75 и 76. Использование двух зубчатых передач в качестве передающего вращение механизма повышает количество зубьев, находящихся во взаимодействии и увеличивает передаваемый момент. Валы 62 и 64 установлены во фланцах 73 и 74 с помощью подшипников 77, 78, 79, 80. В качестве механизма преобразования качающегося движения шайбы 43 во вращение вала 62 и наоборот использован коаксиальный фрикционно-планетарный передающий узел, аналогичный узлу, изображенному на фиг.10. В нем две кольцевые канавки 24 и 29 на валу 62 зацепляются посредством двух шариков 26 и 30 с канавкой 25 на качающейся шайбе 43. Вместо этого узла может быть использован любой из описанных выше коаксиальных фрикционно-планетарных узлов.

Варианты преобразователей на фиг.34 и 35 отличаются друг от друга механизмами преобразования вращения вала 62 в качающееся движение шайбы 43 и механизмами передачи вращения от качающейся шайбы 43 к валу 63 независимо от качания шайбы. В преобразователе на фиг.34 первый из указанных механизмов выполнен на основе косоугольного кривошипа 81 на валу 62, на который с помощью подшипника 82 посажена шайба 43. Для передачи усилия от косоугольного кривошипа в оба полупериода качания шайбы подшипник 82 целесообразно выполнить радиально-упорным четырехточечным. Механизм передачи вращения представляет собой крестовину 83, с помощью которой качающаяся шайба 43 связана с полым валом 63. Подшипники 69 и 84 центрируют валы 62, 63 и 64 относительно друг друга. Механизм преобразования качающегося движения шайбы 43 во вращение вала 62 на фиг.35 подобен механизму на фиг.32, только кольцевой выступ 85 выполнен на шайбе 43, а кольцевая дорожка 86 - на боковой поверхности вала 62. В качестве механизма передачи вращения на фиг.35 использована система гибких тяг или шарниров 87, которая позволяет шайбе 43 качаться независимо от вращения вала 63.

В двухступенчатых коаксиальных преобразователях скорости на фиг.36 и 37

передающие узлы обеих ступеней реализованы на одной качающейся шайбе 43. Один из передающих узлов образован периодическими дорожками качения 45 и 44 на боковых поверхностях качающейся шайбы 43 и полого вала 64, являющегося обоймой передающего узла, и цепочкой шариков 46. Узел преобразования вращения вала 62 в качающееся движение шайбы 43 представляет собой косоугольный кривошип 81, на который через радиально-упорный четырехточечный подшипник 88 буртиком 89 посажена качающаяся шайба 43. Для надежной посадки шайбы с противоположного торца преобразователя введен аналогичный вал 90 с косоугольным кривошипом 91, на который через такой же подшипник 92 буртиком 93 посажен противоположный торец шайбы 43. Передающий узел второй ступени образован периодическими дорожками 94, 95 и цепочкой шариков 96. Дорожка 95 выполнена на боковой поверхности шайбы 43, противоположной поверхности с дорожкой 45 первого передающего узла. Дорожка 94 выполнена на боковой поверхности полого вала 97, обращенной к качающейся шайбе 43. Цифрами 72 и 98 обозначены сепараторы передающих узлов обеих ступеней. Валы 62, 64, 90 и 97 преобразователя собраны в единый узел посредством подшипников 99, 100, 101 и 102, расположенных по торцам преобразователя. Валы 62 и 90 вращаются как один вал и вызывают качающееся движение шайбы 43.

Вариант преобразователя скорости, изображенный на фиг.37, отличается от варианта на фиг.36 только механизмом преобразования качающегося движения шайбы 43 во вращение вала 62 и наоборот. Он представляет собой торцевые кулачки 103 и 104 на вращенных друг к другу торцах валов 62 и 90, взаимодействующие с торцами качающейся шайбы 43 через упорные торцевые подшипники 105 и 106. Использование двух противоположно лежащих торцевых кулачков также обеспечивает передачу усилия в оба полупериода качания шайбы 43. Этим описываемый преобразователь выгодно отличается от преобразователей в заявке WO 8201043, где все механизмы качания шайбы работают только в одном полупериоде.

Работает двухступенчатый преобразователь следующим образом. При вращении от внешнего привода одного из валов, например вала 62 (вместе с валом 90), шайба 43 начинает качаться. Вращение входного вала не передается качающейся шайбе, т.к. она развязана с валом подшипниками 88, 92 или 105, 106. Это движение шайбы 43 за счет взаимодействия дорожек качения 44 и 45 с шариками 46 вызовет поворот качающейся шайбы 43 относительно вала 64 на угол, определяемый соотношением периодов дорожек качения 44 и 45. При соблюдении условия самозаклинивания шариков 46 относительно дорожек 44 и 45 они будут катиться по дорожкам без проскальзывания. Передающий узел второй ступени, образованный периодическими дорожками качения 94 и 95 и шариками 96, будет работать аналогичным образом, только входным звеном для него будет качающаяся шайба 43, которая одновременно качается и вращается. Таким образом, для первой ступени преобразователя функцию узла, передающего вращение качающейся шайбы 43, будет выполнять передающий узел второй ступени. Выходным валом преобразователя в этом случае будет вал 97, скорость вращения которого относительно входного вала 62 будет определяться скоростью вращения вала 64 и соотношением чисел периодов дорожек качения передающих узлов первой и второй ступеней. Следует отметить, что входными или выходными валами могут быть любые из валов 62 (он же 90), 64 и 97.

Преобразователь при этом будет работать как мультипликатор или редуктор (при неподвижном одном из валов), либо как дифференциальный преобразователь скорости в зависимости от соотношения скоростей на двух входных валах.

Коаксиальные двухступенчатые преобразователи на фиг.38 и 39 образованы двумя передающими узлами, расположенными один внутри другого. Передающий узел первой ступени образован качающейся шайбой 43 с периодической дорожкой качения 45, полым валом-обоймой 64 с периодической дорожкой 44 и цепочкой шариков 46. Механизм преобразования качающегося движения шайбы во вращение вала 62 представляет собой косоугольный кривошип 81 с радиально-упорным четырехточечным подшипником 88, на который посажена шайба 43. Противоположная боковая поверхность вала 62 выполнена с косоугольным кривошипом 107, внутри которого на таком же подшипнике 108 посажена качающаяся шайба 109 второй ступени. На внутренней боковой поверхности шайбы 109 реализован передающий узел второй ступени, образованный периодическими дорожками 110 и 111 на шайбе 109 и полом валу 112 и цепочкой шариков 113. Косоугольные кривошипы 81 и 107 могут иметь противоположный наклон, как это показано на фиг.38, или одинаковый наклон. Соответственно шайбы 43 и 109 будут качаться в противофазе, либо синхронно. Первый вариант более предпочтителен, так как в нем шайбы сбалансированы по массе относительно оси преобразователя. Шайбы 43 и 109 связаны друг с другом узлом передачи вращения, независимо от их качающегося движения. На приведенных фигурах этот узел представляет собой гибкое кольцо 114. Валы 62, 64 и 112 на торцах соединены подшипниками 101 и 102.

Преобразователь на фиг.39 отличается механизмами преобразования качающегося движения шайб 43 и 109 во вращение вала 62. Эти механизмы выполнены в виде фрикционно-планетарных передающих узлов с дорожками качения 115 на противоположных боковых поверхностях вала 62, с двумя параллельными экватору

дорожками качения 116 и 117 на каждой из качающихся шайб, и двумя парами диаметрально противоположных шариков 118 и 119 в этих дорожках. Цифрами 120 и 121 обозначены подшипники, посредством которых валы 62, 64 и 112 преобразователя фиксируются друг относительно друга.

Работа этих двухступенчатых преобразователей аналогична предыдущим.

В двухступенчатом преобразователе с последовательным расположением ступеней на фиг.40 передающий узел первой ступени образован качающейся шайбой 43 и валом-обоймой 64 с шариками 46 в дорожках качения 44, 45. Узел второй ступени образован качающейся шайбой 122, посаженной на второй кривошип 123 на валу 62 с помощью радиально-упорного четырехточечного подшипника 124. Шайбы 43 и 122 параллельны друг другу. Шайбу 122 охватывает полый вал 125, являющийся обоймой передающего узла второй ступени. На обращенных друг к другу поверхностях качающейся шайбы 122 и обоймы 125 выполнены периодические дорожки качения 126 и 127. В дорожках качения расположена цепочка шариков 128. Оси прецессии OO_1 и CC_1 качающихся шайб 43 и 122 параллельны друг другу и эксцентрично смещены относительно друг друга. Поэтому механизм передачи вращения от одной шайбы к другой в данной конструкции представляет собой узел передачи вращения между параллельными валами в виде шарикового параллельного кривошипа. Он представляет собой лунки 129 и 130 на торцевых поверхностях качающихся шайб 43 и 122, которые зацепляются друг с другом посредством шариков 131. Оси лунок равномерно расположены по окружности каждой шайбы, а диаметры лунок больше диаметра шариков 131 на величину смещения друг относительно друга осей качающихся шайб 43 и 122 при их синхронной прецессии относительно точек А и В. При прецессии шайб шарик 131, обкатывая лунки 129 и 130, позволяют шайбам 43 и 122 смещаться, но не позволяют им поворачиваться друг относительно друга. Таким образом, вращение одной из шайб вызывает поворот другой, при этом шарик 131 позволяет поверхностям шайб смещаться друг относительно друга, сохраняя возможность прецессии каждой из них относительно своего центра. Полые валы 64 и 125 могут вращаться независимо друг от друга благодаря наличию подшипников 132 между ними. Все три вала 62, 64 и 125 преобразователя собраны в единый узел с помощью подшипников 133 и 134. Цифрой 135 обозначен сепаратор передающего узла второй ступени.

Следующая конструкция двухступенчатого преобразователя, изображенная на фиг.41, отличается механизмом преобразования вращения вала 62 в качающееся движение шайб 43 и 122. Этот механизм содержит два диаметрально противоположных шарика 136 и 137, которые расположены между дорожкой качения 138 на наружной боковой поверхности вала 62 и кольцевыми выступами 139 и 140 шайб 43 и 122. Для упрощения сборки обоймы 125 выполнена разъемной по линии, делящей периодическую дорожку качения 126 на две симметричные части. Валы 62, 64 и 125 соединяются подшипниками 132, 133, 134.

Вариант двухступенчатого преобразователя на фиг.42 имеет шайбы 43 и 122, качающиеся в противофазе. Для этого на валу 62 выполнены косые кривошипы 141 и 142 с противоположным наклоном. Связь между обоймами осуществляется с помощью конических зубчатых колес 143 и 144. Все остальные обозначения на фиг.42 соответствуют обозначениям фиг.40 и 41.

Двухступенчатый преобразователь на фиг.43 отличается оригинальными конструкциями механизма преобразования вращения вала 62 в качающееся движение шайб 43 и 122 и узла передачи вращения между шайбами 43 и 122 независимо от их прецессии. Вал 62 выполнен в виде обоймы с косыми кривошипами 81 и 123 на наружной боковой поверхности и имеет в средней части наружный кольцевой выступ 145, выступающий за пределы валов 64 и 125. Наружный венец кольцевого выступа 145 выполнен в виде конического зубчатого колеса 146, связанного с колесом 147 на валу 148. Таким механизмом передается вращение между скрещивающимися валами 62 и 148. В этом преобразователе отбор мощности можно производить одновременно от обойм 64 и 125, поэтому преобразователь очень эффективен в качестве редуктора заднего моста автомобиля. Внутри вала 62 и качающихся шайб 43 и 122 проходит полый вал 149, который двумя крестовинами 150 и 151 связан с шайбами 43 и 122. Крестовины позволяют шайбам свободно качаться, передавая вращение от шайбы к шайбе. Цифрами 133 и 134, как и на предыдущих чертежах, обозначены подшипники, соединяющие элементы преобразователя друг с другом.

Двухступенчатый преобразователь с последовательным расположением ступеней работает следующим образом. Допустим, что неподвижно закреплен вал-обойма 64 передающего узла первой ступени. При вращении вала 62 с угловой скоростью ω_1 качающаяся шайба 43 совершает прецессию с той же скоростью и, воздействуя на шарик 46, заставляет его обкатывать без скольжения неподвижную дорожку качения 44 на обойме 64 со скоростью ω_2 , зависящей от числа периодов этой дорожки качения. Обкатное движение шариков 46, в свою очередь, вызовет поворот шайбы 43 относительно цепочки шариков, который зависит от числа периодов дорожки качения 45 качающейся шайбы 43. Относительно неподвижной обоймы 64 (относительно корпуса) шайба 43 будет вращаться с угловой скоростью ω_3 , являющейся функцией числа периодов дорожек качения 44 на обойме 64 и 45 на шайбе 43. Шариками 131

параллельного кривошипа, зубьями колес 143 и 144 или валом 149 с крестовинами 150 и 151 это вращение передается шайбе 122, которая одновременно с вращением прецессирует с угловой скоростью ω_1 . Шарик 128 второго передающего узла, взаимодействуя с дорожкой качения 126 на шайбе 122 и дорожкой 127 на обойме 125, вызовут поворот последней относительно шайбы 122, на угол, определяемый соотношением периодов дорожек качения 126 и 127. Общий поворот ведомого вала-обоймы 125 будет зависеть от ω_1 , ω_2 , ω_3 и, в конечном счете, будет определяться числами периодов всех четырех дорожек качения на качающихся шайбах и обоймах передающих узлов обеих ступеней. Если вал 64 будет вращаться, т.е. будет вторым входным валом, то выходная скорость будет зависеть, кроме всего прочего, и от соотношения входных скоростей валов 62 и 64. Центром прецессии цепочки шариков 46 является точка А, а центром прецессии цепочки шариков 128 - точка В, которые совпадают с центрами симметрии соответствующих шайб. То есть, прецессия каждой цепочки шариков осуществляется относительно точки, лежащей в плоскости этой цепочки, что значительно упрощает требования к профилю периодической дорожки качения.

Обратимся теперь к фиг.44, на которой изображен передающий узел, в котором обе обоймы 152 и 153 выполнены с возможностью прецессии и являются качающимися шайбами. Так же, как и в передающем узле на фиг.20, на обращенных друг к другу боковых поверхностях обойм в форме сферического пояса выполнены периодические дорожки качения 154 и 155, в пересечении которых размещена цепочка шариков 156. В таком передающем узле при общем угле наклона между шайбами, равном γ , угол наклона каждой шайбы к оси $ОО_1$ составляет $\gamma/2$. То есть, угол прецессии каждой шайбы уменьшен в два раза, что создает более благоприятные условия для работы механизма, возбуждающего прецессию шайб, а также узла передачи вращения.

На фиг.45 и 46 приведены схемы преобразователей скорости, в которых шайбы 152 и 153 качаются навстречу друг другу, т.е. прецессируют в противофазе. Таковую прецессию обеспечивает механизм, представляющий собой два полых вала 157 и 158, соединенных между собой фланцем 159. Вал 157 расположен внутри передающего узла, а вал 158 - снаружи. На боковых обращенных друг к другу поверхностях вала 157 и шайбы 152 выполнены замкнутые кольцевая канавка 159 и кольцевой выступ 160. Аналогичные канавка 161 и выступ 162 выполнены на обращенных друг к другу поверхностях другой пары вал 158 - качающаяся шайба 153. Между боковой стенкой канавки 159 и кольцевым выступом 160 с одной стороны шайбы 152 и между противоположной стенкой канавки 159 и противоположной стороной выступа 160 на диаметрально противоположной стороне шайбы введены два шарика 163. Точно так же между канавкой 161 и выступом 162 введены два шарика 164. Шарик 163 и 164 расположены друг относительно друга так, что обеспечивают противоположный наклон шайб 152 и 153. Шайбы 152 и 153 связаны с полыми валами 165 и 166 узлами передачи вращения между несоосными валами. На фиг.45 это система рычагов или гибких тяг 167 и 168, а на фиг.46 и 47 эти узлы выполнены в виде конической зубчатой передачи 169 и 170.

Механизм для преобразования качающегося движения шайб 152 и 153 во вращательное движение связанных друг с другом валов 157 и 158 на фиг.46 представляет собой два косых кривошипа с противоположным наклоном 171 и 172 на обращенных к качающимся шайбам боковых поверхностях валов 157 и 158. Качающиеся шайбы 152 и 153 посажены на кривошипные валы 171 и 172 с помощью радиально-упорных четырехточечных подшипников 173 и 174.

Работа преобразователей скорости на фиг.45 и 46 практически не отличается от работы преобразователя, изображенного на фиг.33 или 34. Один из валов 165 или 166 является выходным звеном, а другой закрепляется неподвижно. Отбор мощности всегда производится через узел передачи вращения между несоосными валами, и этот узел рассчитан на меньший угол наклона валов, чем в преобразователе с одной качающейся шайбой. Кроме того, в два раза уменьшен угол прецессии каждой из качающихся шайб при прочих равных условиях, т.е. механизм преобразования качающегося движения шайбы во вращательное движение вала и наоборот работает при меньших углах.

Преобразователь скорости на фиг.47 имеет два независимо вращающихся полых вала 175 и 176 с косыми кривошипами, расположенных внутри и снаружи передающего узла. Качающиеся шайбы 152 и 153 посажены на косые кривошипы посредством подшипников 173 и 174. Кривошипные валы 175 и 176 образуют два входа преобразователя, а обоймы 165 и 166 могут служить выходами. Если входные валы вращаются с одинаковой скоростью и в одном направлении и косые кривошипы имеют одинаковый наклон, то шайбы 152 и 153 будут качаться без вращения в одном направлении как одно целое. Друг относительно друга они будут неподвижны, и выходная скорость преобразователя будет равна нулю. При изменении направления вращения одного из входных валов на противоположное, преобразователь передает момент вращения с передаточным отношением, определяемым соотношением периодов дорожек качения на каждой из шайб. Таким образом, преобразователь скорости приобретает дополнительно функцию сцепной муфты.

Таким образом, в описанных в заявке передающих узлах с качающейся шайбой отсутствует трение скольжения зацепляющихся элементов, что повышает КПД,

уменьшает шум и износ дорожек и тел качения. Разнообразные схемы преобразователей скорости с такими передающими узлами построены по принципу подшипника, т.е. состоят из нескольких соосных обоем, каждая из которых может служить входным (или входными), выходным (или выходными) валами или корпусом, изменяя при этом режим работы и функции преобразователя. Каждый из описанных выше элементов может применяться порознь или вместе, формируя конструкции различного применения, но все они не выходят за пределы сущности настоящего изобретения.

Формула изобретения

1. Передающий узел с качающейся шайбой, содержащий два тела вращения, одно из которых выполнено с возможностью прецессии, т.е. двух независимых движений: качания относительно другого и вращения вокруг собственной оси, наклонной к оси другого тела вращения, и является качающейся шайбой, на обращенных друг к другу поверхностях тел вращения выполнены замкнутые кольцевые дорожки качения, взаимодействующие друг с другом посредством тел качения, находящихся в постоянном контакте с дорожками на обеих деталях, и угол наклона качающейся шайбы выбран так, чтобы дорожки в месте контакта с телами качения имели друг к другу наклон, меньший или равный углу самозаклинивания тел качения.
2. Передающий узел по п.1, отличающийся тем, что угол наклона дорожек качения друг к другу составляет от $0,1$ до 10° .
3. Передающий узел по п.1, отличающийся тем, что дорожки качения имеют такой профиль, что зоны контакта тела качения с дорожками качения расположены на разных расстояниях от оси вращения тела качения.
4. Передающий узел п.1, отличающийся тем, что тела вращения выполнены в виде дисков с кольцевыми замкнутыми дорожками качения на обращенных друг к другу плоских поверхностях, контактирующих друг с другом посредством одного тела качения.
5. Передающий узел по п.4, отличающийся тем, что угол наклона качающейся шайбы выбран из диапазона $0,2-15^\circ$.
6. Передающий узел по п.4, отличающийся тем, что тело качения выполнено в виде шарика и боковые стенки дорожки качения выполнены упругоподвижными относительно друг друга.
7. Передающий узел п.1, отличающийся тем, что тела вращения выполнены в виде охватывающих друг друга обоемы и качающейся шайбы с боковыми обращенными друг к другу поверхностями в виде сферического пояса с центром сферы в центре прецессии качающейся шайбы, телами качения служат шарики, а каждая из дорожек качения на качающейся шайбе и обойме выполнена на сферическом поясе в виде системы параллельных друг другу замкнутых кольцевых канавок, лежащих в плоскостях, перпендикулярных оси вращения соответствующей детали, и шарики расположены в местах пересечения канавок качающейся шайбы с канавками обоймы.
8. Передающий узел по п.7, отличающийся тем, что дорожка качения на качающейся шайбе выполнена в виде одной замкнутой кольцевой канавки, расположенной по экваториальной линии шайбы.
9. Передающий узел по п.8, отличающийся тем, что на обойме выполнена одна кольцевая канавка, смещенная от линии большого круга сферы на расстояние, равное половине размаха качающейся шайбы, и зацепляющаяся с канавкой качающейся шайбы одним шариком.
10. Передающий узел по п.8, отличающийся тем, что на обойме выполнены две кольцевые канавки, расположенные по разные стороны от большого круга сферы на расстоянии, равном половине размаха качающейся шайбы, зацепляющиеся с канавкой на качающейся шайбе двумя диаметрально расположенными шариками.
11. Передающий узел по п.8, отличающийся тем, что на обойме выполнена одна кольцевая канавка, расположенная по линии большого круга сферы и зацепляющаяся с канавкой качающейся шайбы двумя диаметрально расположенными шариками.
12. Передающий узел по п.8, отличающийся тем, что на обойме выполнены три кольцевые канавки, одна - по линии большого круга сферы и две - по разные стороны от нее на расстоянии, равном половине размаха качающейся шайбы, зацепляющиеся с канавкой на качающейся шайбе четырьмя попарно диаметрально расположенными шариками.
13. Передающий узел по п.7, отличающийся тем, что дорожка качения на обойме выполнена в виде одной кольцевой канавки по экваториальной линии обоймы, а система канавок на качающейся шайбе представляет собой две канавки, отстоящие от экваториальной линии шайбы на расстоянии, равном половине размаха качающейся шайбы.
14. Передающий узел по п.7, отличающийся тем, что в системе кольцевых канавок на обойме, по меньшей мере, одна из канавок выполнена на отдельном независимо вращающемся элементе обоймы.
15. Передающий узел с качающейся шайбой, содержащий охватывающие друг друга два тела вращения, одно из которых является качающейся шайбой, а другое - обоймой, с боковыми сопрягаемыми поверхностями в виде сферического пояса с центром сферы в центре прецессии качающейся шайбы, в экваториальной области сферического пояса на обойме и качающейся шайбе выполнены периодические по

азимуту дорожки качения, по меньшей мере, одна из которых выполнена замкнутой и волнообразно изогнутой в осевом направлении, дорожки зацепляются друг с другом посредством цепочки шариков, расположенных в местах пересечения дорожек качения, отличающийся тем, что дорожки в месте контакта с шариками имеют друг к другу наклон, меньший или равный углу самозаклинивания шариков.

16. Передающий узел по п.15, отличающийся тем, что угол α наклона фронта периодической дорожки качения к экватору на качающейся шайбе и соответствующий угол β на обойме связаны с углом γ наклона качающейся шайбы соотношениями $\alpha - \beta - \gamma \leq 10^\circ$ при $\alpha \geq \beta$; $\beta - \alpha + \gamma \leq 10^\circ$ при $\alpha < \beta$.

17. Передающий узел по п.15, отличающийся тем, что число периодов N_1 и N_2 дорожек качения и число шариков p связаны соотношениями $N_1 = kp \pm 1$; $N_2 = qp \pm 1$, где k и q - целые числа или числа вида $1/m$, где m - число, на которое число шариков делится без остатка.

18. Передающий узел по п.15, отличающийся тем, что дорожка качения на одном из тел вращения выполнена незамкнутой в виде системы разнесенных по окружности канавок, вытянутых по меридианам сферы.

19. Передающий узел по п.15, отличающийся тем, что обе дорожки выполнены замкнутыми и волнообразно изогнутыми в осевом направлении.

20. Передающий узел по п.15, отличающийся тем, что замкнутая дорожка качения выполнена на обойме, последняя разрезана по средней линии изогнутой дорожки качения, образуя два независимо вращающихся элемента обоймы, дорожка качения на каждом из которых представляет собой систему полуволен, выполненных с разным числом периодов.

21. Дифференциальный преобразователь скорости, содержащий, по меньшей мере, три вала, а также передающий узел, выполненный по любому из пп.1-20, в котором качающаяся шайба связана с одним из валов механизмом для независимого преобразования ее качающегося движения во вращательное, и наоборот, со вторым из валов механизмом передачи ее вращения относительно наклонной оси независимо от качающегося движения, а с третьим валом непосредственно связано второе тело вращения.

22. Дифференциальный преобразователь скорости по п.21, отличающийся тем, что передающий узел выполнен по п.4, механизм для преобразования качающегося движения во вращательное, и наоборот, выполнен в виде торцового кулачка, взаимодействующего с качающимся диском через подшипник, а второй вал является корпусом передачи и связан с качающейся шайбой устройством предотвращения ее вращения при сохранении качающегося движения.

23. Дифференциальный преобразователь скорости по п.21, отличающийся тем, что передающий узел выполнен по любому из пп.7-20 и все валы выполнены соосными и полыми, образуя коаксиальную конструкцию из обойм в виде подшипникового узла.

24. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что передающий узел выполнен по п.14 или 20 и введены дополнительные валы, непосредственно связанные с отдельными элементами обоймы.

25. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что механизм преобразования качающегося движения шайбы во вращение вала, и наоборот, выполнен в виде косоугольного кривошипа, на который качающаяся шайба посажена через радиально-упорный четырехточечный подшипник.

26. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что механизм преобразования качающегося движения шайбы во вращательное, и наоборот, выполнен в виде передающего узла по любому из пп.7-13, реализованного на той же качающейся шайбе со стороны, противоположной основному передающему узлу, и обойма которого непосредственно связана с первым валом.

27. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что механизм независимой передачи вращения качающейся шайбы выполнен в виде крестовины.

28. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что механизм независимой передачи вращения качающейся шайбы выполнен в виде системы гибких тяг или шарниров.

29. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что механизм независимой передачи вращения качающейся шайбы выполнен в виде конической зубчатой передачи.

30. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что механизм независимой передачи вращения качающейся шайбы выполнен в виде универсального шарнира.

31. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что дополнительно введен коаксиальный передающий узел второй ступени, выполненный по любому из пп.7-19 и реализованный на той же качающейся шайбе со стороны, противоположной первому передающему узлу, любой из передающих узлов выполняет функцию механизма передачи вращательного движения качающейся шайбы к валу, непосредственно связанному с обоймой передающего узла.

32. Дифференциальный преобразователь скорости по п.31, отличающийся тем, что механизм преобразования качающегося движения шайбы во вращательное, и наоборот, выполнен в виде двух полых валов с одинаковыми косыми кривошипами,

введенных на подшипниках между внутренней и наружной обоймами преобразователя с противоположных торцов, а качающаяся шайба посажена на кривошипные валы с помощью подшипников.

33. Дифференциальный преобразователь скорости по п.31, отличающийся тем, что механизм преобразования качающегося движения шайбы во вращательное выполнен в виде двух полых валов, введенных между внутренней и наружной обоймами преобразователя с противоположных торцов, валы снабжены торцовыми кулачками, взаимодействующими с торцами качающейся шайбы через подшипники.

34. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что коаксиально с первым дополнительно введен передающий узел второй ступени, выполненный по любому из пп.7-19 и расположенный относительно первого так, что качающиеся шайбы обоих узлов обращены друг к другу, механизм преобразования качающегося движения каждой из шайб во вращательное выполнен в виде полого вала, введенного между качающимися шайбами обеих ступеней и имеющего на внутренней и внешней боковых поверхностях элементы, вызывающие прецессию шайб, и шайбы обеих ступеней связаны друг с другом во вращательном движении, так что передающий узел второй ступени одновременно выполняет функцию механизма передачи вращательного движения качающейся шайбы к валу, непосредственно связанному с обоймой передающего узла второй ступени.

35. Дифференциальный преобразователь скорости по п.34, отличающийся тем, что элементы, вызывающие прецессию шайб, представляют собой косые кривошипы с одинаковым или противоположным наклоном, на которые шайбы посажены через подшипники.

36. Дифференциальный преобразователь скорости по п.34, отличающийся тем, что элементы, вызывающие прецессию шайб, выполнены на боковых обращенных друг к другу поверхностях полого вала и каждой качающейся шайбы в виде кольцевой канавки и кольцевого выступа, сопрягающихся друг с другом посредством двух диаметрально противоположных шариков, расположенных между стенами канавки и выступом с противоположных сторон от последнего.

37. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что последовательно с первым дополнительно введен передающий узел второй ступени, выполненный по любому из пп.7-19, качающиеся шайбы обеих ступеней связаны механизмом передачи вращения между параллельными валами, а механизм преобразования качающегося движения обеспечивает синхронную прецессию шайб.

38. Дифференциальный преобразователь скорости по п.37, отличающийся тем, что узел передачи вращения между параллельными валами выполнен в виде механизма с параллельными кривошипами.

39. Дифференциальный преобразователь скорости по п.37, отличающийся тем, что узел передачи вращения между параллельными валами выполнен в виде механизма с параллельными шариковыми кривошипами.

40. Дифференциальный преобразователь скорости по п.37, отличающийся тем, что узел передачи вращения между параллельными валами выполнен в виде вала и двух крестовин, соединяющих каждую из качающихся шайб с этим валом.

41. Дифференциальный преобразователь скорости по п.40, отличающийся тем, что механизм для преобразования качающегося движения шайб во вращательное движение, и наоборот, выполнен в виде обоймы, расположенной по оси между ступенями преобразователя и снабженной наружным кольцевым выступом, обойма выполнена с двумя косыми параллельными кривошипами, на которые с помощью подшипников посажены качающиеся шайбы, а наружный венец кольцевого выступа выполнен как элемент червячной, конической зубчатой или фрикционной передачи.

42. Дифференциальный преобразователь скорости по п.23, отличающийся тем, что последовательно с первым дополнительно введен передающий узел второй ступени, выполненный по любому из пп.7-19, качающиеся шайбы обеих ступеней связаны механизмом передачи вращения между наклонными валами, а механизм преобразования качающегося движения во вращательное, и наоборот, обеспечивает противофазную прецессию шайб.

43. Передающий узел с качающейся шайбой по любому из пп.15-19, отличающийся тем, что обе обоймы установлены с возможностью прецессии и являются качающимися шайбами.

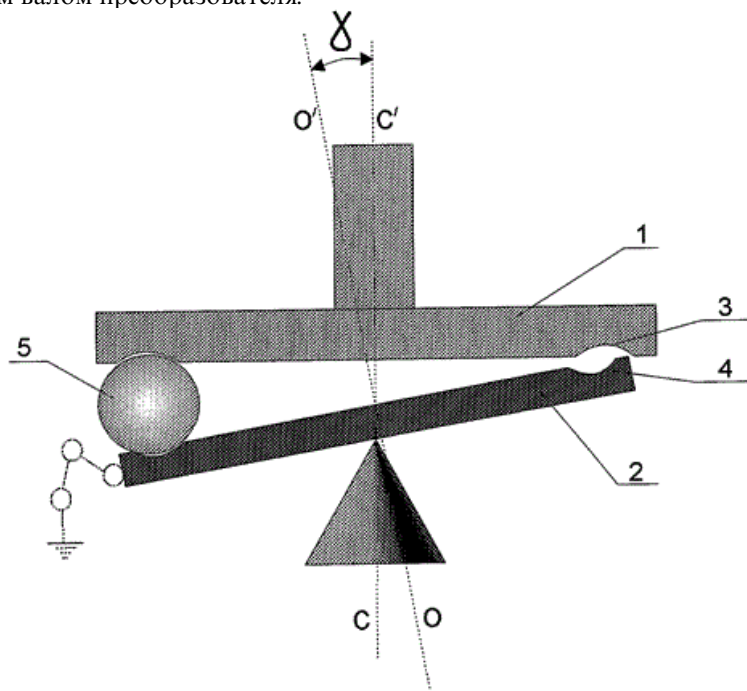
44. Дифференциальный преобразователь скорости, содержащий, по меньшей мере, три соосных полых вала, образующих коаксиальную конструкцию из обойм в виде подшипникового узла, а также передающий узел, выполненный по п.43, в котором качающиеся шайбы связаны с двумя валами узлами передачи вращения между наклонными валами, а с другими валами преобразователя - механизмами для независимого преобразования качающегося движения во вращательное, и наоборот.

45. Дифференциальный преобразователь скорости по п.44, отличающийся тем, что механизм преобразования качающегося движения шайб во вращение выполнен в виде двух коаксиальных связанных друг с другом полых валов, один из которых расположен снаружи внешней качающейся шайбы, а второй - внутри внутренней качающейся шайбы, в каждой паре полый вал - качающаяся шайба, на их обращенных друг к другу боковых поверхностях выполнены дорожка качения и кольцевой выступ, сопрягающиеся друг с другом посредством двух диаметрально

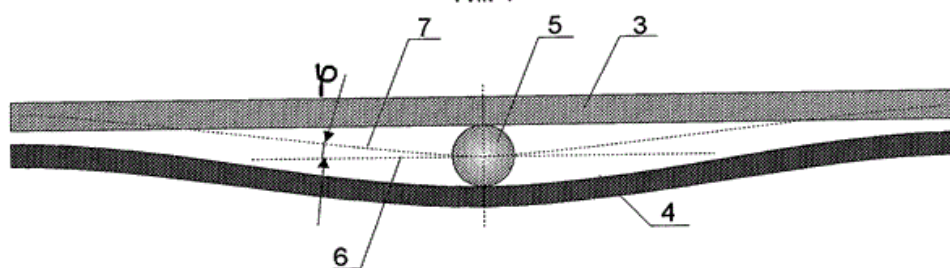
противоположных шариков, расположенных между стенками канавки и выступом с противоположных сторон от последнего, и шарики в каждой паре расположены так, что шайбы имеют противоположный наклон.

46. Дифференциальный преобразователь скорости по п.44, отличающийся тем, что механизм преобразования качающегося движения шайб во вращение выполнен в виде двух коаксиальных и связанных друг с другом полых валов, один из которых расположен снаружи внешней качающейся шайбы, а второй - внутри внутренней качающейся шайбы, на обращенных к качающимся шайбам поверхностях полых валов выполнены косые кривошипные с противоположным наклоном, взаимодействующие с качающимися шайбами через подшипники.

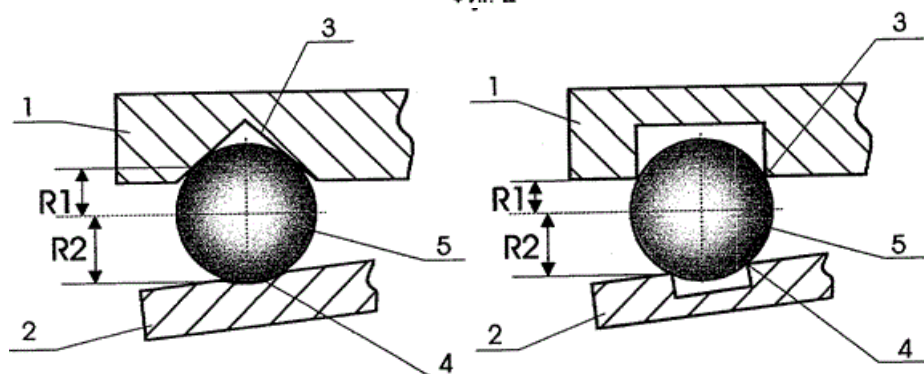
47. Дифференциальный преобразователь скорости по п.44, отличающийся тем, что механизм преобразования качающегося движения шайб во вращение выполнен из двух отдельных независимых друг от друга элементов, каждый из которых связан с отдельным валом преобразователя.



Фиг. 1

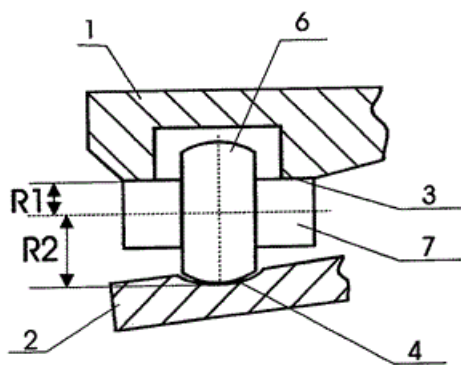


Фиг. 2

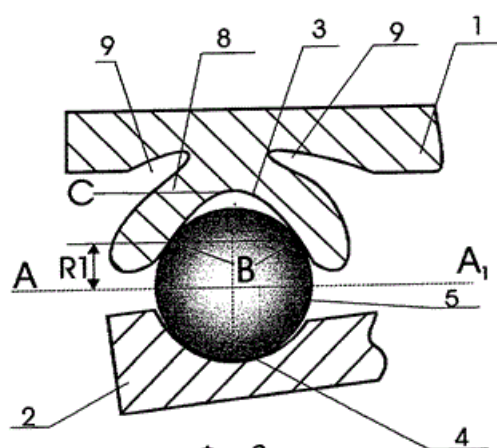


Фиг. 3

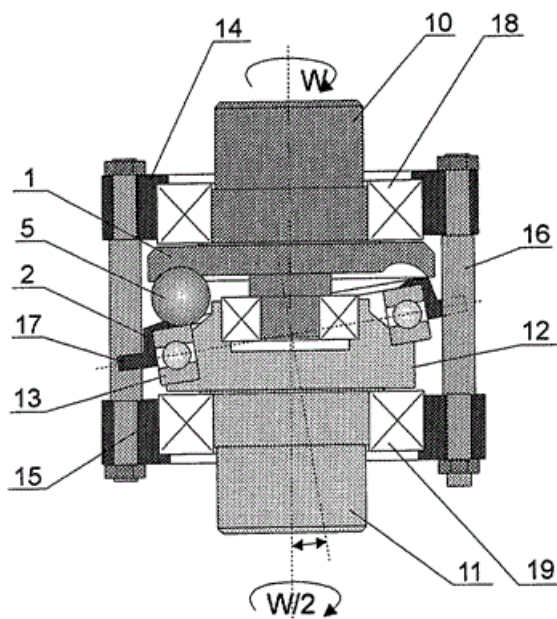
Фиг. 4



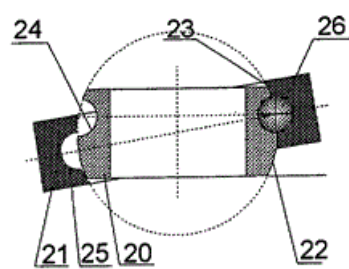
Фиг. 5



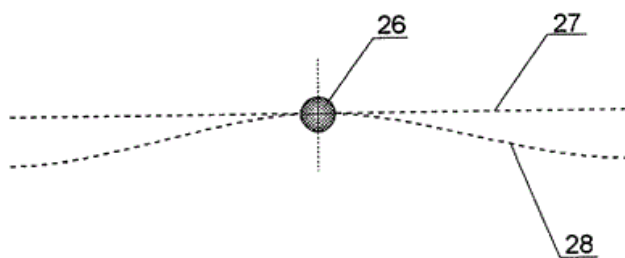
Фиг. 6



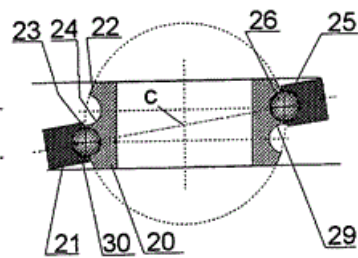
Фиг. 7



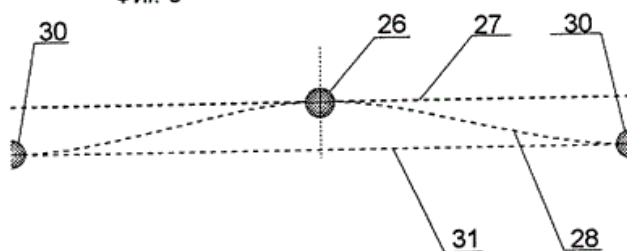
Фиг. 8



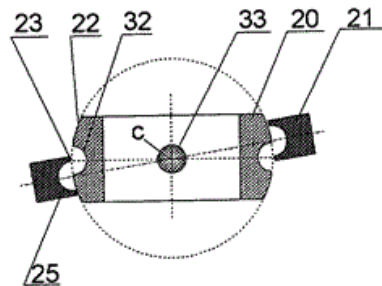
Фиг. 9



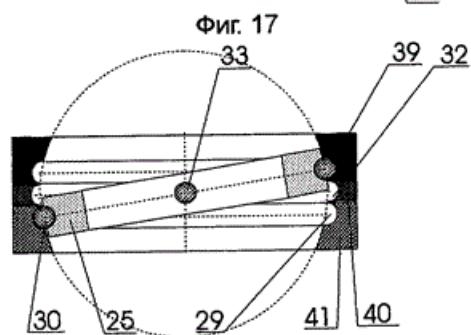
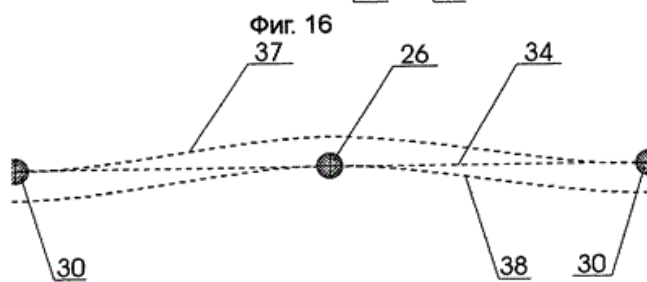
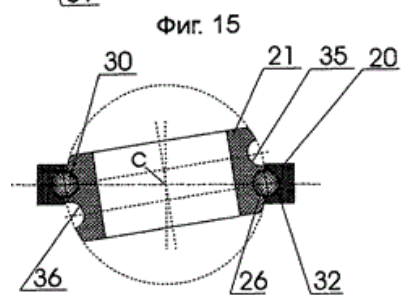
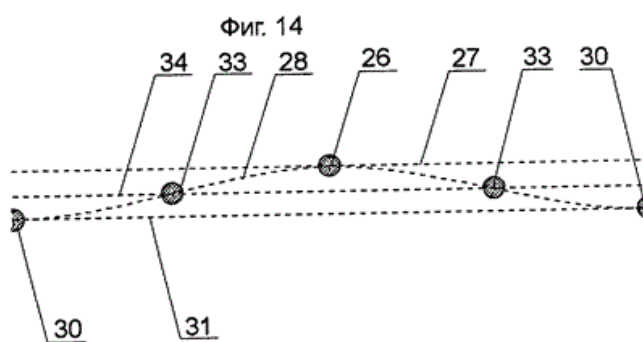
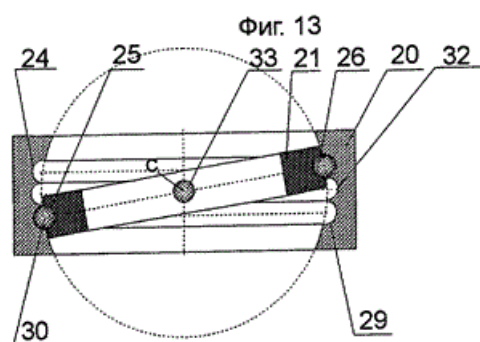
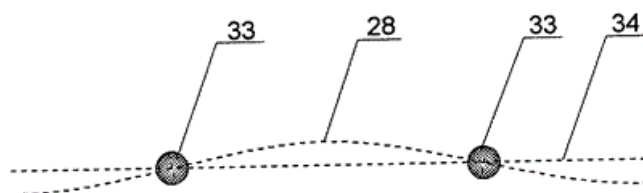
Фиг. 10



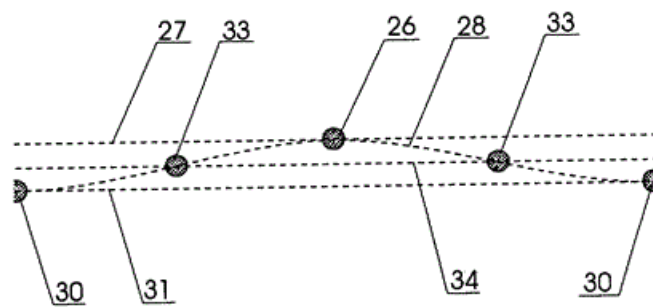
Фиг. 11



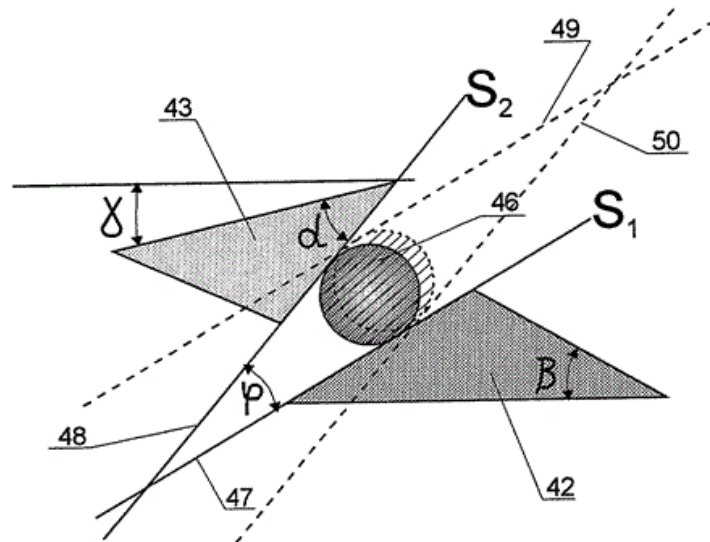
Фиг. 12



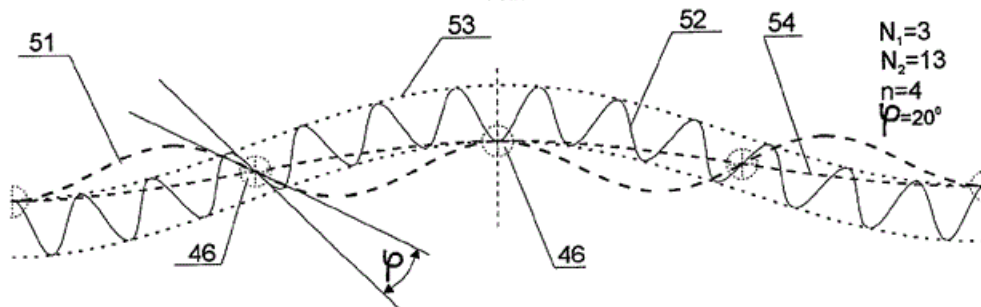
Фиг. 18



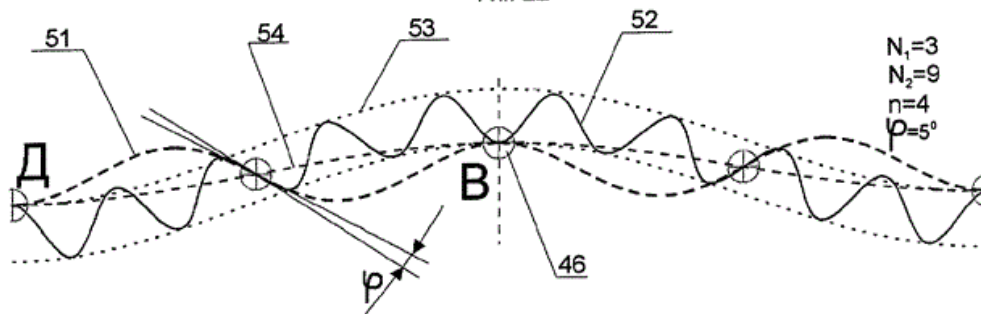
Фиг. 19



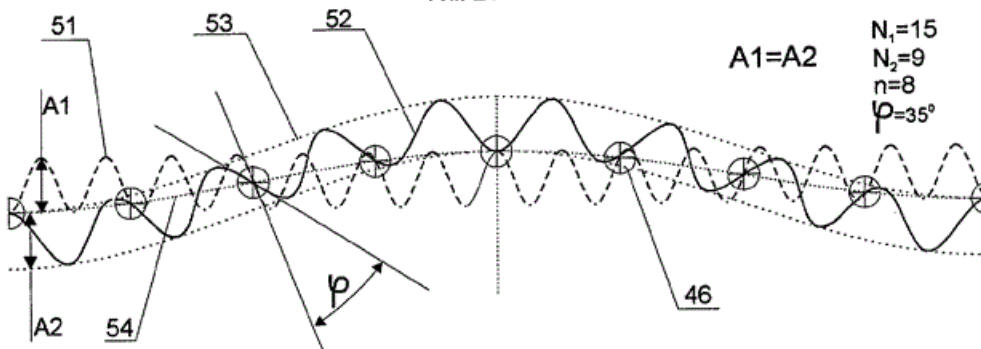
Фиг. 21



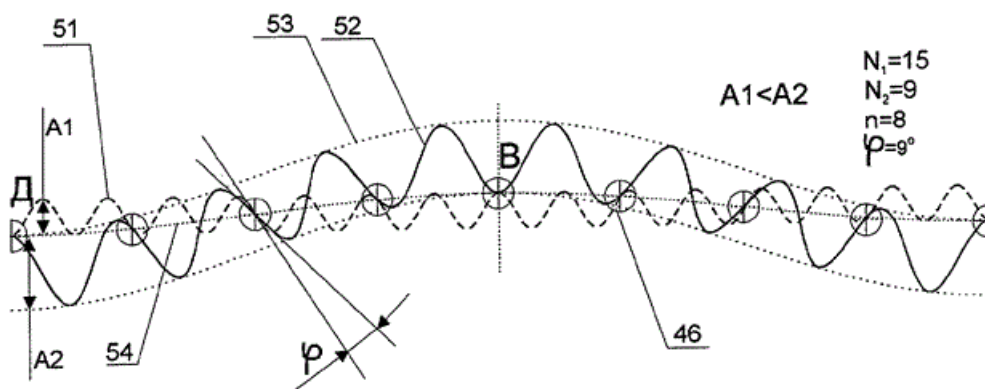
Фиг. 22



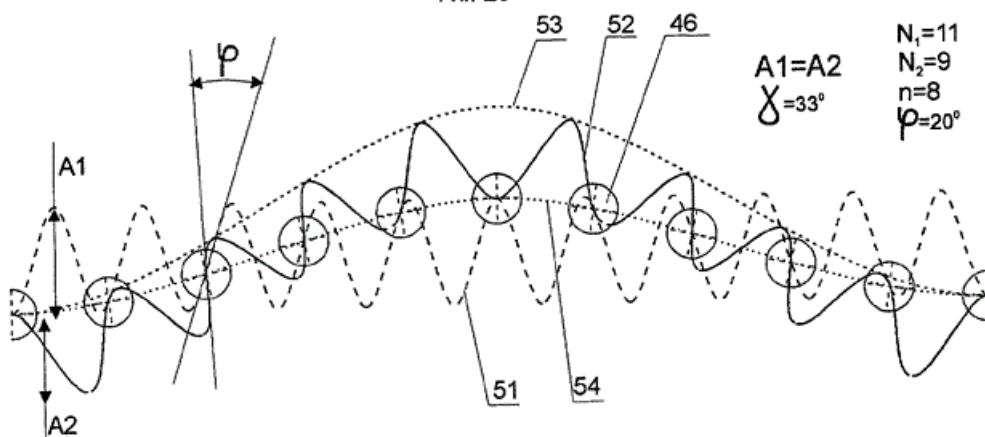
Фиг. 23



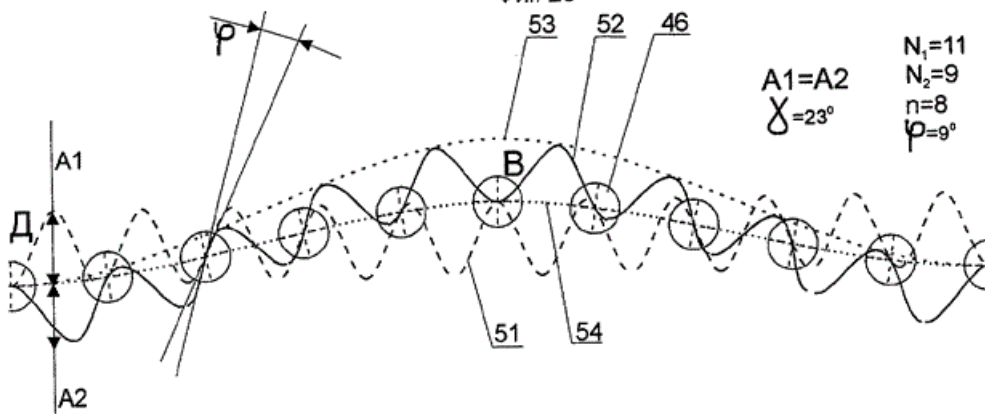
Фиг. 24



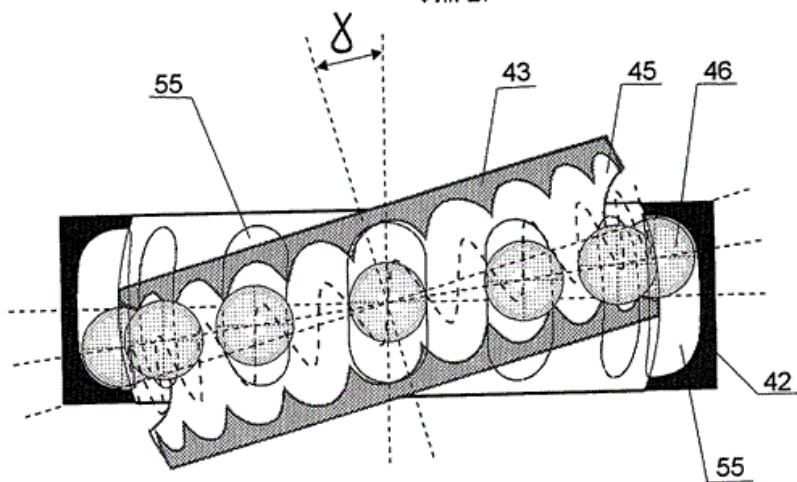
Фиг. 25



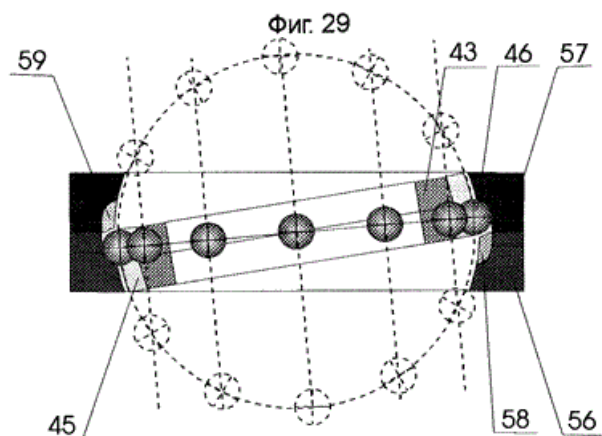
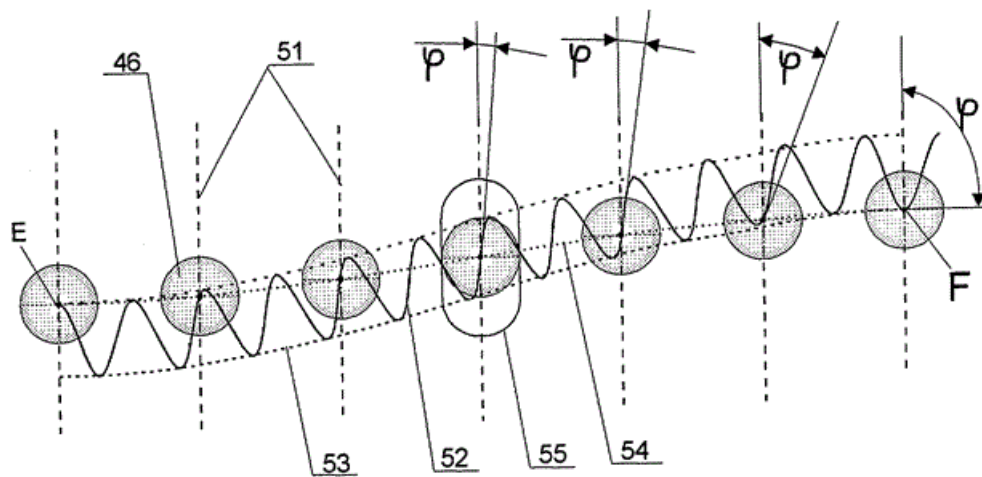
Фиг. 26



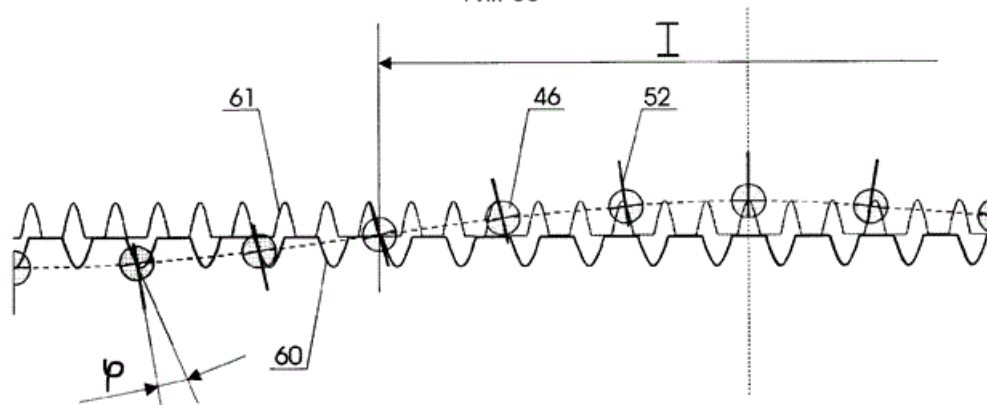
Фиг. 27



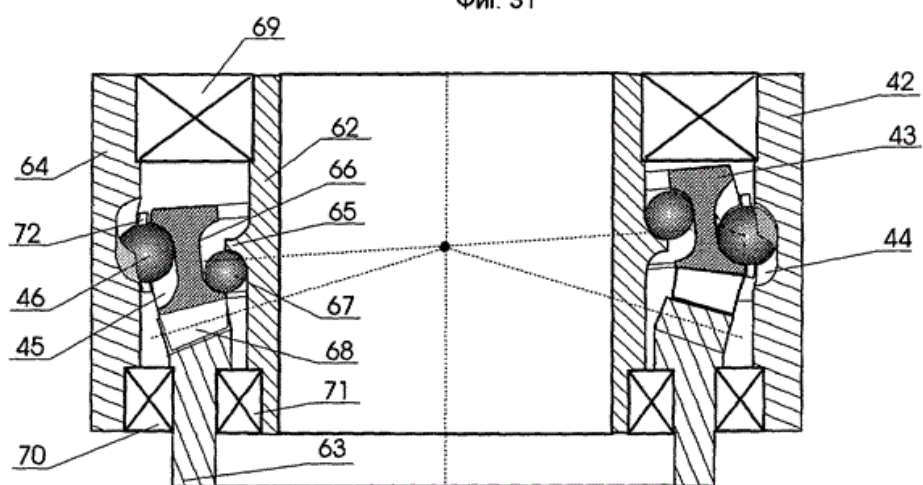
Фиг. 28



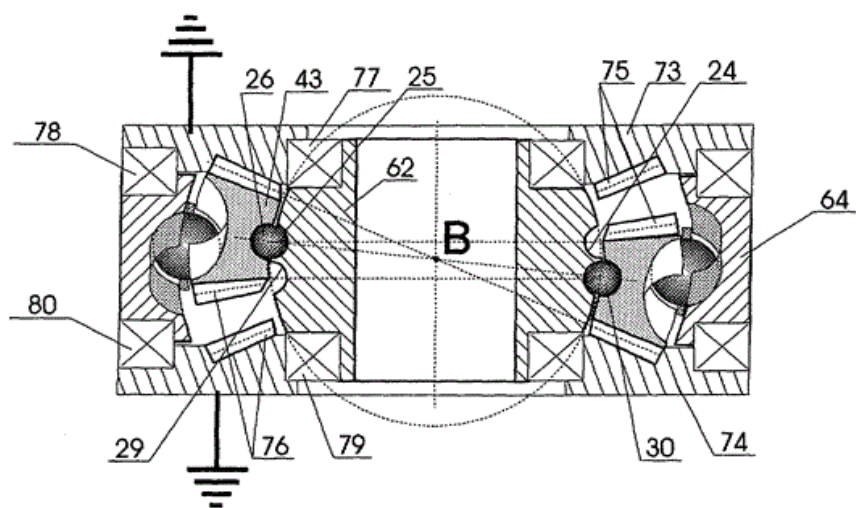
Фиг. 30



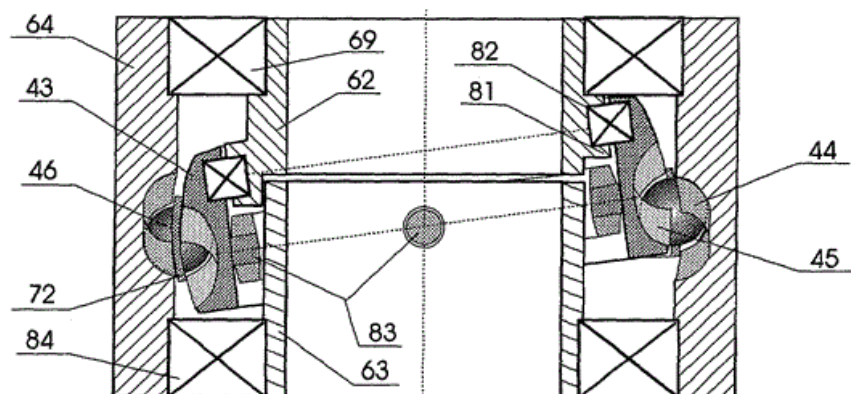
Фиг. 31



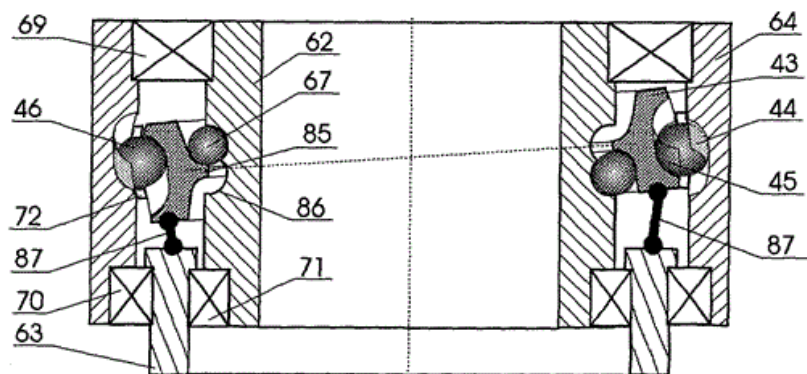
Фиг. 32



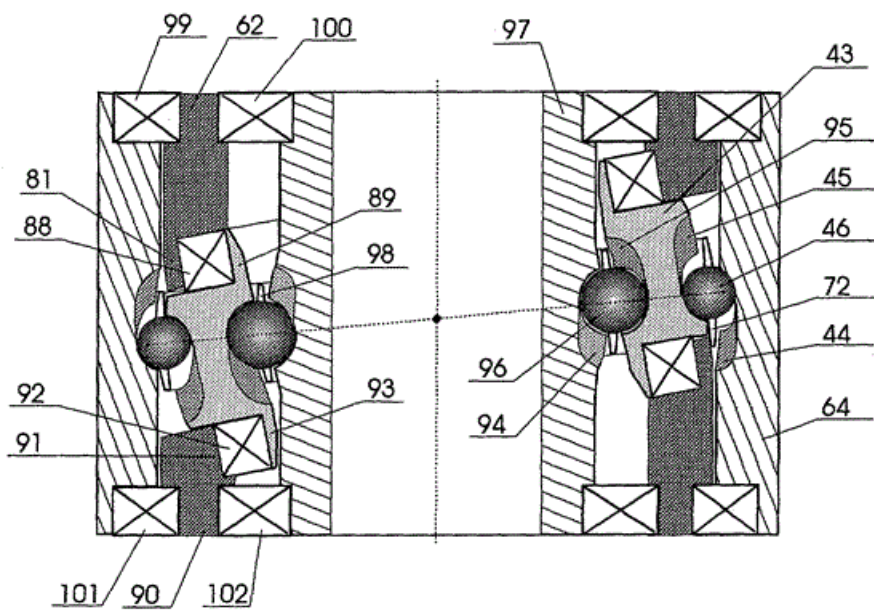
Фиг. 33



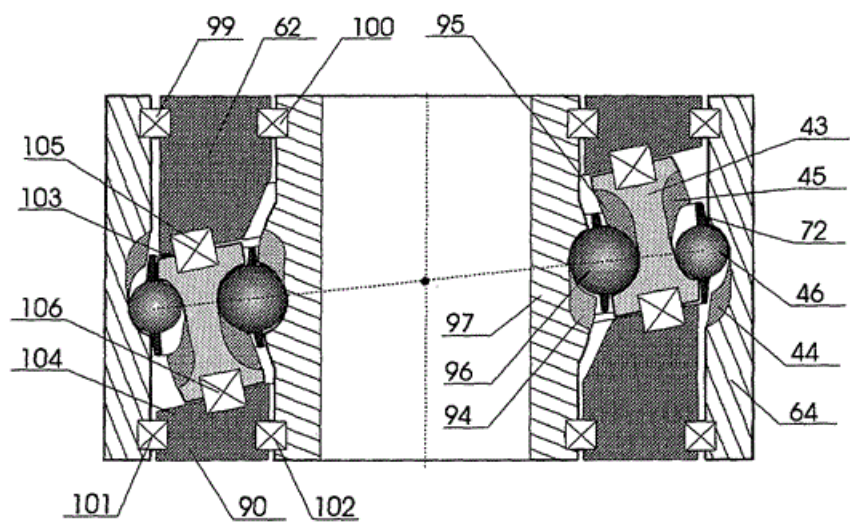
Фиг. 34



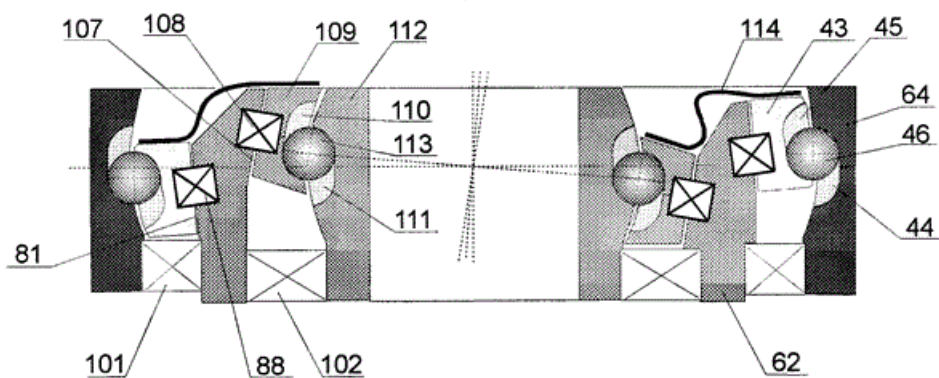
Фиг. 35



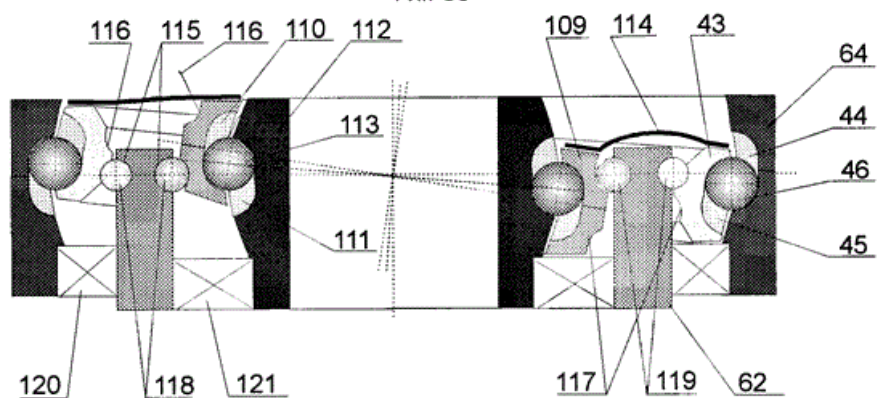
Фиг. 36



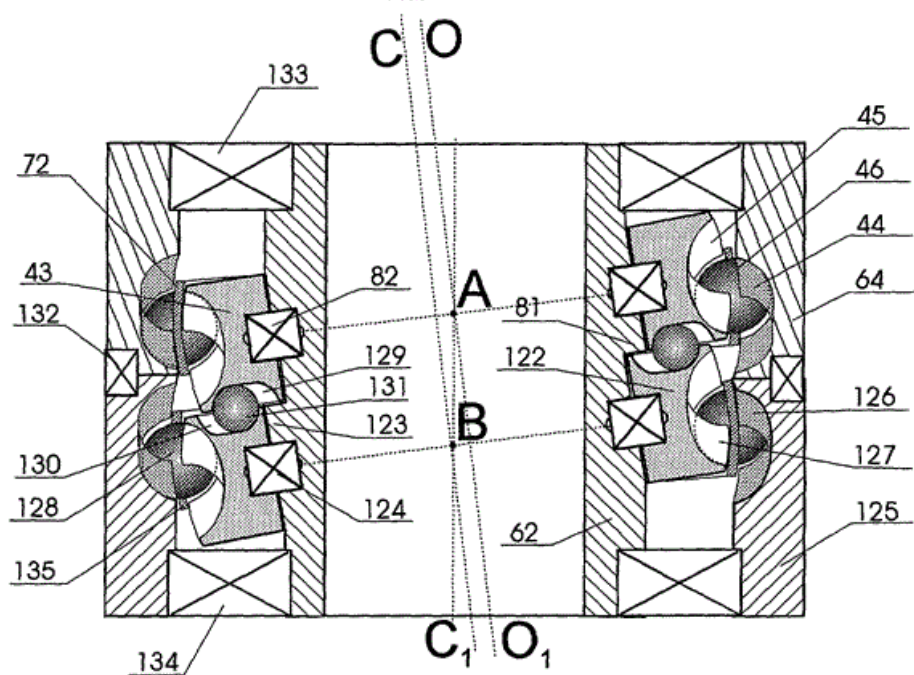
Фиг. 37



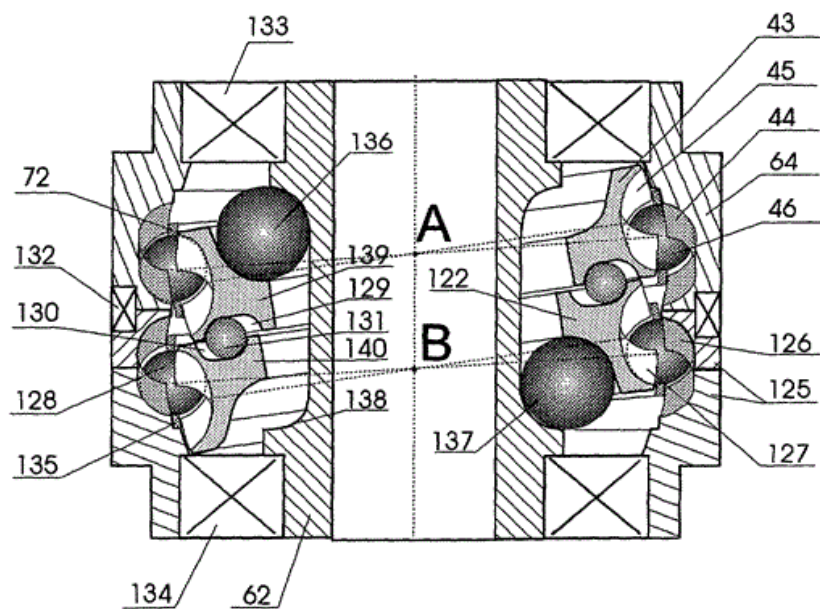
Фиг. 38



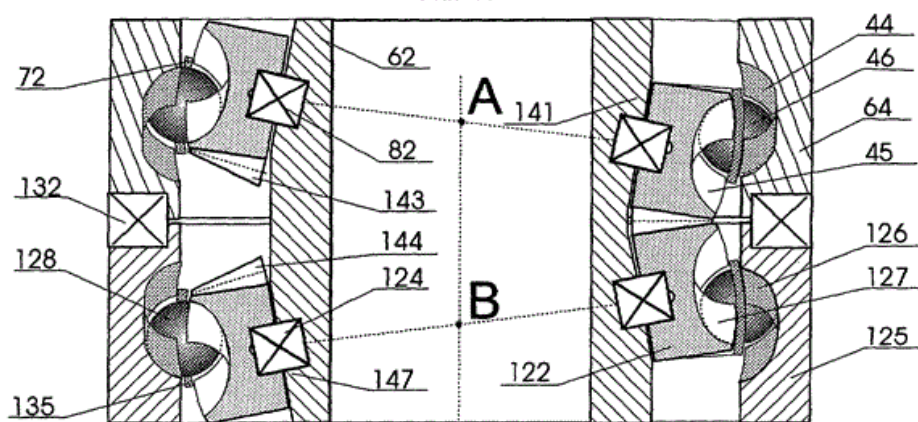
Фиг. 39



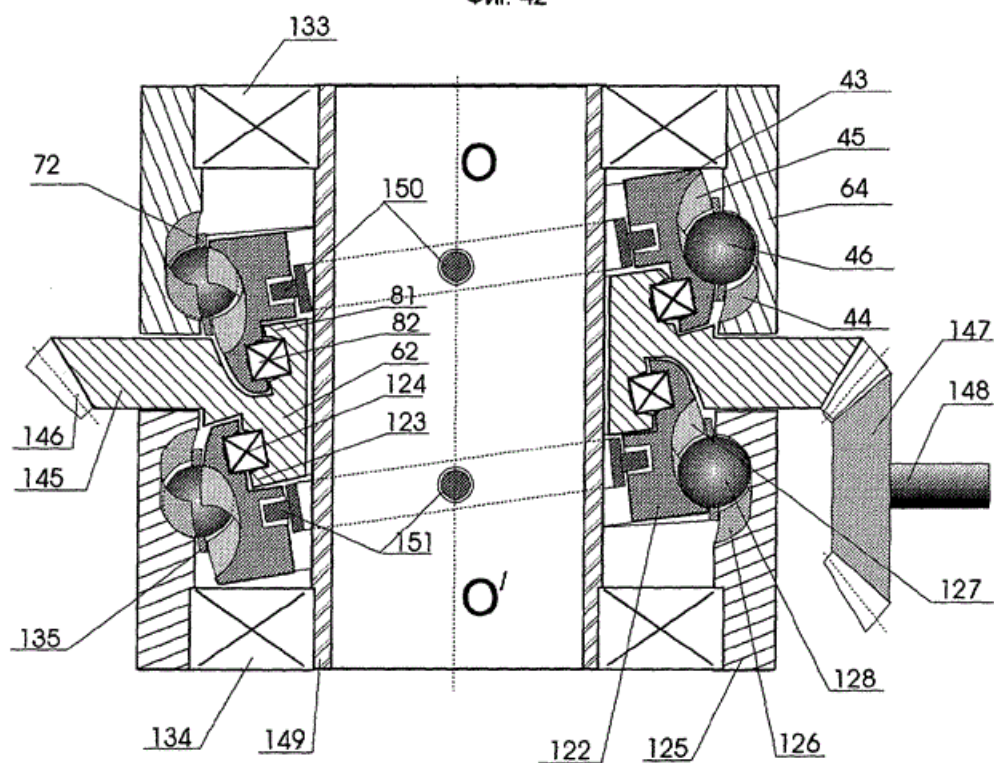
Фиг. 40



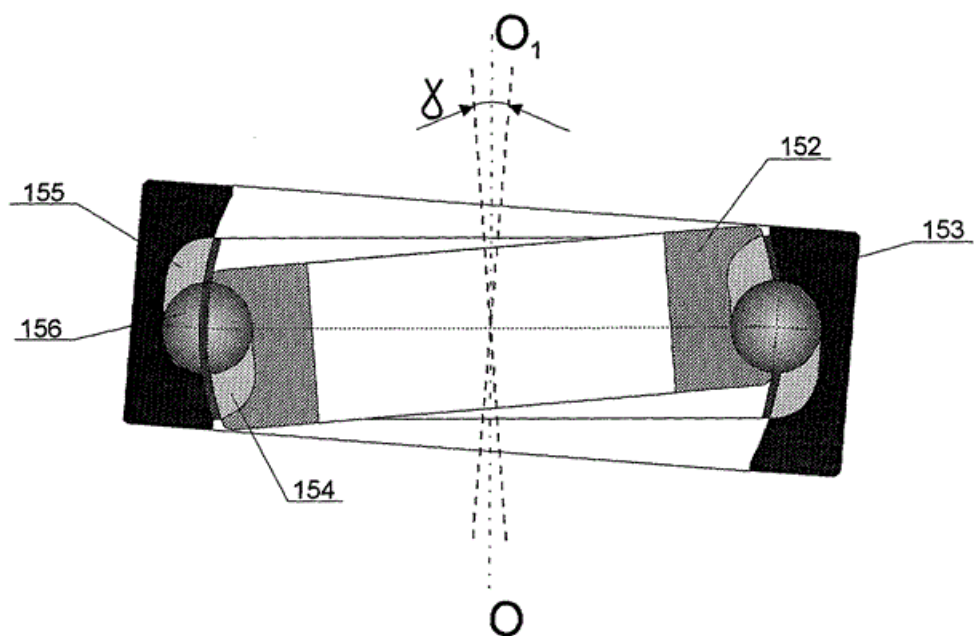
Фиг. 41



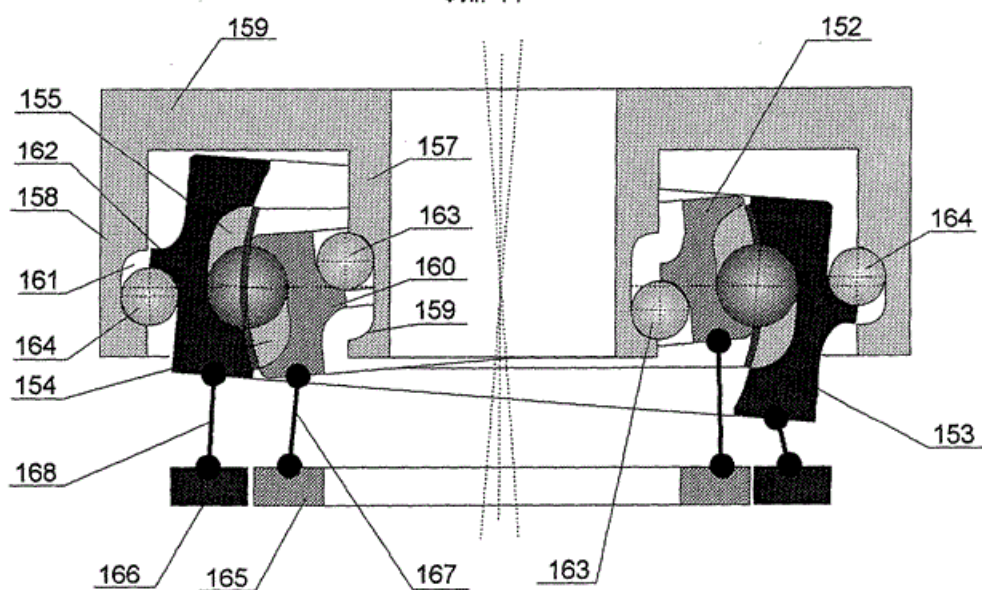
Фиг. 42



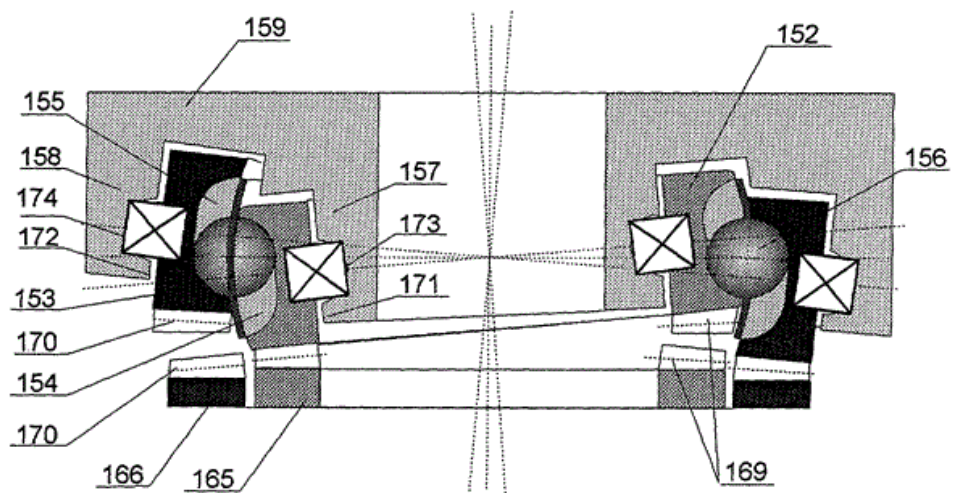
Фиг. 43



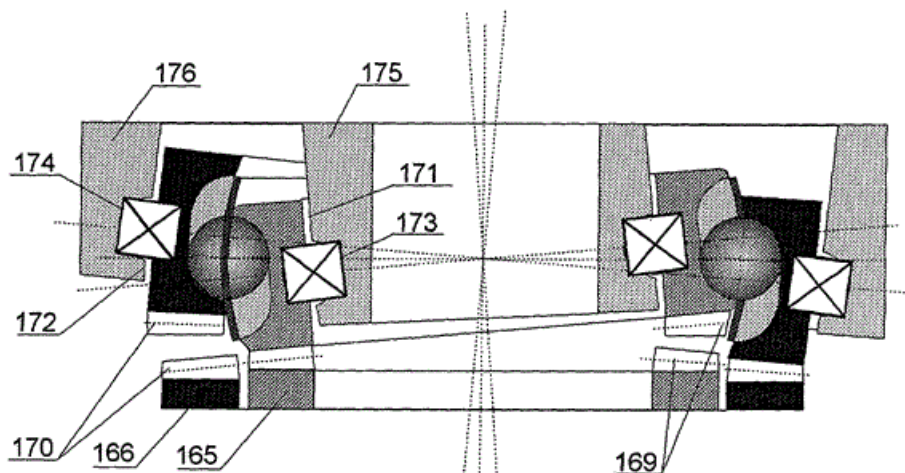
Фиг. 44



Фиг. 45



Фиг. 46



Фиг. 47

ИЗВЕЩЕНИЯ

HE4A - Изменение адреса для переписки с обладателем патента Российской Федерации на изобретение

(21) Регистрационный номер заявки: [2002127775](#)

Адрес для переписки:

634009, г. Томск, пер. Совпартшкольный, 13, ЗАО "ТТС", генеральному директору

Извещение опубликовано: [27.01.2006](#)

БИ: 03/2006

ММ4А Досрочное прекращение действия патента из-за неуплаты в установленный срок пошлины за поддержание патента в силе

Дата прекращения действия патента: 14.11.2008

Дата публикации: [20.04.2011](#)