



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

Статус: прекратил действие, но может быть восстановлен (последнее изменение статуса: 27.11.2015)  
Пошлина: учтена за 14 год с 31.03.2014 по 30.03.2015

(21)(22) Заявка: 2001108604/28, 30.03.2001

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
30.03.2001

(45) Опубликовано: 10.02.2002 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: WO 82/01043 A1, 01.04.1982. SU  
1276869 A1, 15.12.1986. SU 1368545 A2,  
23.01.1988. SU 1569470 A2, 07.06.1990.  
SU 13485586 A1, 30.10.1987.

Адрес для переписки:  
634063, г.Томск-63, а/я 1989,  
В.В.Становскому

(71) Заявитель(и):

Становской Виктор Владимирович

(72) Автор(ы):

Становской В.В.,  
Шибико А.Ф.,  
Ремнева Т.А.,  
Становской А.В.,  
Кривошеев В.В.

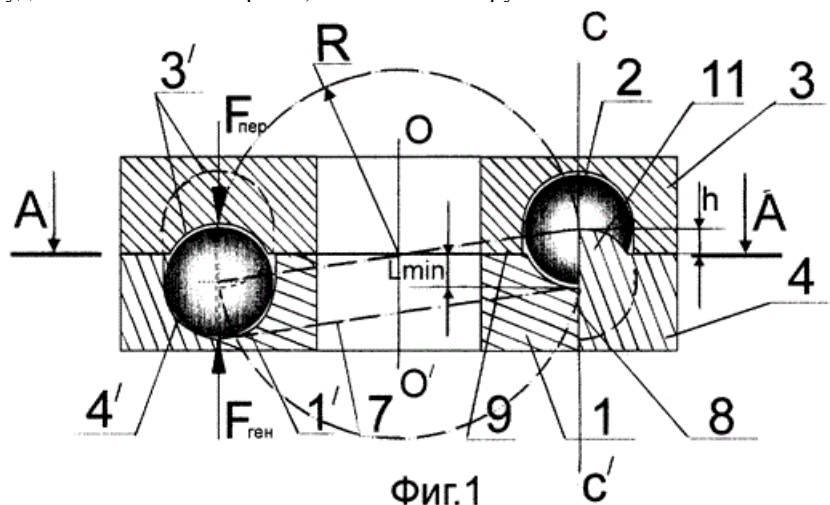
(73) Патентообладатель(и):

Становской Виктор Владимирович

(54) **ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СКОРОСТИ "РЕДУКТОР-ПОДШИПНИК"**

(57) Реферат:

Изобретение относится к машиностроению. Дифференциальный преобразователь скорости содержит волновой генератор и передающий узел. Передающий узел содержит, по меньшей мере, три звена, каждое из которых выполнено в виде обойм, расположенных друг относительно друга так, что каждая обойма сопрягается с двумя соседними, причем, по меньшей мере, две обоймы сопрягаются своими пересекающимися поверхностями. Дорожка качения каждого звена постоянно взаимодействует с телами качения. Дорожка качения, по меньшей мере, одного звена периодически изогнута по замкнутой линии. Обойма, связанная с волновым генератором, выполнена воздействующей на тела качения в направлении, выбранном из любых направлений в плоскости осевого сечения преобразователя. Замкнутые периодически изогнутые дорожки качения других обойм выполнены с направлением изгиба, совпадающим с направлением воздействия волнового генератора. Расширены кинематические и функциональные возможности преобразователя, уменьшены удельный вес и габариты, повышена нагрузочная способность. 17 з. п. ф-лы, 23 ил.



Изобретение относится к области общего машиностроения, а именно к средствам для передачи движения с преобразованием скорости, и может быть использовано в приводах машин и механизмов самого широкого назначения. По принципиальной схеме преобразователь относится к волновым передачам с промежуточными звеньями.

Известна волновая зубчатая передача (см. Редукторы и мотор - редукторы общемашиностроительного применения. Справочник /Л.С. Бойко, А.З. Высоцкий и др. -М: Машиностроение, 1984, с.22- 29), которая состоит из трех основных звеньев:

жесткого и гибкого зубчатых колес и волнового генератора. Одной волне деформации гибкого колеса соответствует поворот на один шаг зубчатого колеса. Такая передача может быть выполнена радиальной, когда волна радиальной деформации бежит по колесу с радиальным расположением зубьев, или осевой, когда деформация гибкого колеса с торцевым расположением зубьев происходит в осевом направлении (см. патент RU N 2019760). Волновые зубчатые передачи с гибкими колесами, обладая большим передаточным отношением (до 350 для одной ступени), имеют невысокий КПД, обусловленный потерями энергии на деформацию гибкого колеса и на трение между зубьями.

Трение между зубьями и потери энергии на деформацию гибкого колеса устраняются в волновых передачах с промежуточными звеньями в виде тел качения. Здесь цепочка тел качения (шариков или роликов) выполняет функцию гибкого колеса традиционной волновой передачи. Каждый шарик находится в одновременном контакте с тремя деталями: кулачковой поверхностью волнового генератора, кулачковой поверхностью в виде зубчатого профиля и деталью, которая фиксирует шарики в азимутальном направлении на одинаковом расстоянии друг от друга (сепаратором). Так же как и традиционные зубчатые волновые передачи, передачи с промежуточными звеньями в зависимости от направления волнового перемещения тел качения можно разделить на радиальные и осевые. Радиальные волновые передачи с промежуточными звеньями описаны в патентах RU N 2029167, RU N 2029168, US N 5989144. Волновым генератором является эксцентриковый кулачок, создающий в цепочке шариков волну радиальных перемещений. Второй кулачковой поверхностью является зубчатое колесо с радиальным направлением зубьев. Каждый поворот эксцентрика при неподвижном сепараторе поворачивает зубчатое колесо на один шаг. Передаточное число определяется числом зубьев зубчатого колеса, количество которых на единицу больше, чем число рабочих тел качения. К этому типу передач относятся также устройства, в которых волновым генератором служит эксцентрично расположенное и приводимое в движение с помощью кривошипного вала кольцо, кулачковая поверхность которого выполнена на боковой поверхности в виде зубчатого профиля с радиальным направлением зубьев (патенты US N 4584904, 4643047, 5683323). При вращении вала волнового генератора кольцо совершает радиальное волновое перемещение и через тела качения взаимодействует с зубчатым колесом. При неподвижном зубчатом колесе кольцо совершает планетарное вращательное движение и является выходным звеном, движение с которого снимается с помощью параллельного кривошипа. При не вращающемся кольце выходным звеном является зубчатое колесо. В любом случае, конструкция усложняется механизмом параллельного кривошипа. Зубчатые профили кольца и колеса в этой передаче имеют форму гипо- и эпициклоид и трохоид, что усложняет расчет и изготовление передач. Кроме того, описанные преобразователи скорости, как все механизмы с эксцентриковыми деталями, имеют асимметричную по массе нагрузку на валу, что вызывает биения и повышенный износ деталей или требует применения дополнительных элементов балансировки.

Существует также класс передач, которые по аналогии можно назвать осевыми волновыми передачами с промежуточными звеньями. В самом общем случае они содержат волновой генератор, воздействующий на цепочку тел качения - шариков в осевом направлении. Шарик находится в одновременном контакте с тремя деталями, одна из которых связана с волновым генератором, другая фиксирует угловое положение шариков на орбите друг относительно друга и ее можно условно назвать водилом - сепаратором, а третьей деталью служит зубчатый профиль с осевым расположением зубьев. При этом такие передачи могут называться по-разному и иметь некоторые отличия в конструкции ее основных узлов. Так, в волновой передаче по авторскому свидетельству СССР (SU N 559052) волновой генератор выполнен с торцевыми зубьями, торцевой зубчатый профиль неподвижен и связан с корпусом устройства, а выходным звеном является сепаратор. В передаче по авторскому свидетельству СССР (SU N 1025941), названной планетарной сферической, волновым генератором служит торцевой кулачок, либо косой кольцевой паз на валу. Зубчатый профиль выполнен в виде торцевого конического колеса, а водилом - сепаратором является зубчатое колесо, внутреннего или наружного зацепления, закрепленное в корпусе.

По конструкции торцевого волнового генератора можно выделить класс передаточных механизмов с качающейся шайбой. Их еще называют прецессирующими или нутирующими передачами (см. SU N 653458, SU N 1427115, а также патенты US N 1748907, N 4563915, N 4620456, N 4620457, N 4715249 и N 5443428). В передаче по пат. US N 1748907 водилом - сепаратором является качающаяся шайба с лунками на боковой поверхности, которая не вращается, т.к. имеет зубчатое зацепление с корпусом. В остальных указанных патентах сепаратор является ненагруженным звеном, а передача осуществляется взаимодействием качающейся шайбы посредством еще одного аналогичного передающего узла с корпусом. В указанных передачах с качающейся шайбой зубчатые профили выполняются по эпи- и гипотрохидальным кривым на сферической поверхности, которые сложно изготовить. Понимая это, авторы изобретения по патенту N 4620456 предлагают изготавливать все детали передаточного механизма из пластмассы, на

которой зубчатый профиль 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 N 5,443,428 описан еще более сложный зубчатый профиль, в котором трение скольжения сведено к минимуму. Данный преобразователь скорости, несомненно, незаменим в устройствах, где требуется высокая точность, плавность хода, например, в области космической техники, но мало пригоден в силовых приводах массового применения и изготовления. При существенных различиях в конструкциях каждая из вышеописанных волновых передач с промежуточными звеньями имеет неподвижный корпус, с которым в каждой конкретной конструкции связана вполне конкретная деталь, передающий узел передачи имеет внутренний объем, ограниченный корпусом. При необходимости смазки (а она необходима для мощных силовых передаточных блоков), его нужно заполнять весь корпус, и в передачах с качающейся шайбой она совершает свои движения в этой смазке. В таких условиях пригодна только жидкая смазка, а для нее сложной технической проблемой становится уплотнение на выходе из корпуса ведущего и ведомого валов.

Известны, так называемые, синусошариковые передачи, которые также можно отнести к волновым передачам с промежуточными звеньями (Игнатищев Р.М. Общие сведения о синусошариковых передачах "Вестник машиностроения", 1986, N 2, стр.24-28). В этой статье предложены схемы "двухсинусоидных" и "трехсинусоидных" передач, в которых в эксцентричном движении участвует не весь кулачок, а только тела качения, что значительно снижает асимметричность нагрузки. Передающий узел "двухсинусоидных" передач состоит из трех последовательно расположенных деталей. На двух крайних деталях выполнены кулачковые поверхности в виде периодических по азимуту дорожек качения для шариков. Промежуточная деталь с прорезьями для шариков выполняет функцию водила - сепаратора. Одна из деталей с кулачковой поверхностью является волновым генератором. Дорожка качения волнового генератора может быть одно- либо многопериодной, причем соотношение периодов кулачковых поверхностей зависит от числа тел качения и подчиняется определенной закономерности. Этот принцип реализован как для радиальной, так и для осевой волновых передач. Для радиальной "двухсинусоидной" передачи разработано несколько конкретных кинематических схем. Периодические дорожки качения с радиальным направлением изгиба выполнены на плоских, обращенных друг к другу, поверхностях дисков, а водило - сепаратор в виде плоского кольца с радиальными прорезьями расположен между ними (см. также SU N 1019148, Игнатищев М.Р., Могилевский машиностроительный институт, 30.04.88). Такие радиальные передачи имеют дисбаланс по массе только при передаче высоких крутящих моментов, т.к. в них шарики имеют большие размеры, и для них требуется принимать специальные меры для балансировки.

Для осевой передачи разработана одна схема (см. также SU N 825823, того же заявителя, 30.04.81 г.). Передающий узел представляет собой три коаксиально расположенные одна в другой обоймы. Кулачковые поверхности в виде периодически изогнутых в осевом направлении дорожек качения выполнены на обращенных друг к другу боковых поверхностях наружной и внутренней обойм, а промежуточная обойма выполнена со сквозными продольными прорезьями.

Для увеличения передаточного отношения тем же автором разработана, так называемая, "трехсинусоидная" передача с осевым перемещением шариков (SU N 1216498, 07.03.86). Периодические по азимуту замкнутые дорожки качения выполнены на каждой из обойм. Для этого промежуточная обойма связана с корпусом, так как периодически изогнутая дорожка качения на ней выполнена в виде сквозной круговой прорези.

К "двухсинусоидным" передачам относятся конструкции, представленные семейством патентов США фирмы "Синкинетикс инк." N 5312306, N 5514045 (заявка WO 94/18472), N 5562564, N 5600699, N 5722910, N 5954615, N 5989145, N 6039672, N 6125711, а также патентом США N 5577423. В своем большинстве преобразователи скорости в этих патентах реализуют принцип вышеописанных синусошариковых передач. Передающий узел осевой передачи полностью идентичен "двухсинусоидной" передаче с тремя коаксиальными деталями. Радиальная схема передающего узла дополнена конструкцией, в которой кулачковые поверхности волнового генератора и зубчатого профиля выполнены в виде периодических по азимуту дорожек качения на противолежащих боковых поверхностях двух коаксиальных деталей, между которыми расположен сепаратор с прорезьями (как, например, на фиг. 8 патента N 5989145). Любая из указанных деталей может служить как входным, так и выходным валом, для этого одна из деталей должна быть закреплена неподвижно. Телами качения служат ролики. Последняя схема удобна для встраивания преобразователя в двигатель, либо в исполнительный механизм. При этом, как указано в патенте, внешняя деталь может одновременно выполнять функцию корпуса, а весь передающий узел - функцию подшипникового узла для крепления входного и выходного валов.

Таким образом, синусошариковые передачи обладают рядом положительных свойств, среди которых возможность получения высоких передаточных отношений в одной ступени, простота конструкции и малые габариты при высоких передаваемых

моментах. Принцип компоновки передающего узла преобразователя, положенный в основу всех вышеописанных конструкций, наиболее близок к предлагаемому изобретению, но его компоновка в виде трех последовательно расположенных деталей ограничивает число конструктивных вариантов выполнения, так как промежуточная деталь - сепаратор обязательно должна быть со сквозными прорезями. В таких конструкциях глубина дорожек качения и толщина водила - сепаратора с прорезями примерно равны друг другу и равны  $1/3$  диаметра тела качения. Анализ расположения сил, действующих на шарик, показывает, что силы, действующие на шарик со стороны дорожек качения, имеет две составляющие: радиальную и осевую, при этом только одна из них выполняет полезную работу, а другая только увеличивает потери энергии на трение. Кроме того, точками приложения этих сил являются края дорожек качения, что не позволяет реализовать двухточечный контакт шариков с дорожкой качения. Это вызывает повышенный износ шариков и разрушение дорожек качения у их краев при передаче высоких крутящих моментов. Как отмечено в статье (Пашкевич М.Ф. Вестник машиностроения, 1985, N 7, с. 23-26), наиболее слабым по прочности звеном синусошариковых передач является водило - сепаратор. Увеличить его толщину невозможно из-за того, что при этом точка приложения силы, действующей на шарик, смещается от центра к краю шарика, и уменьшается ее полезная составляющая.

За прототип выбрана планетарная "трехсинусоидальная" передача с радиальным волновым перемещением шариков (SU N 1276869, 15.12.86). Передающий узел этого преобразователя скорости содержит три звена в виде дисков, из которых, по крайней мере, два расположены соосно. Один из дисков связан с волновым генератором. Каждый из дисков имеет кулачковую поверхность в виде замкнутой периодически изогнутой в радиальном направлении дорожки качения, находящейся в постоянном контакте с телами качения - шариками. Дорожки качения двух дисков расположены на обращенных друг к другу торцевых поверхностях, а дорожка качения промежуточного диска расположена на его боковой поверхности. В одном из вариантов дорожки качения двух звеньев противостоят дорожке третьего звена. Для уменьшения проскальзывания тел качения диск волнового генератора связан с валом через эксцентриковый кривошип, а дорожка качения на нем выполнена в виде кольцевой канавки. Передающий узел этого механизма не сбалансирован по массе, так как шарик находится на разных расстояниях от оси вращения. Разбалансировка еще более увеличивается в варианте конструкции с эксцентриковым кривошипом, т. к. этот вариант приближается к передачам с эксцентриковым кулачком и лишается основного достоинства синусошариковых передач. Для преобразователей скорости с высокими нагрузочными способностями необходимо применять специальные меры по балансировке узла, такие как специальные канавки на дне дорожки качения (см. SU N 1511495, 30.09.89.) или v-образный паз в эксцентриковом диске. Кроме того, для описанной здесь "трехсинусоидальной" передачи справедливы все выводы относительно точек приложения сил и повышенного износа шариков и краев дорожек качения, сделанные выше. В дальнейшем, схемы трехсинусоидных передач были доработаны, т. к. выяснилось, что шарик при прохождении ими вершин или впадин всех трех дорожек качения одновременно могут значительно отклоняться от своих средних угловых положений, что может привести к повышенной динамике в зацеплении и даже заклиниванию передачи. Для устранения этого между дисками передающего узла дополнительно введен тонкостенный сепаратор с прорезями, который фиксирует шарик на равном угловом расстоянии друг от друга при прохождении ими критических точек (см. Игнатищев Р.М. Трехсинусоидная шариковая передача/ "Вестник машиностроения", 1987, N 2, с. 13-16). Такой сепаратор не передает вращающий момент, т.е. является ненагруженным. В то же время наличие сепаратора еще более смещает точки приложения сил от оси, проходящей через центр шарика, и ухудшает их распределение.

Предлагаемое изобретение решает задачу создания автономного и многоцелевого преобразователя скорости, аналогичного подшипнику, который не имеет общего корпуса, а какая-то из деталей становится неподвижной при посадке преобразователя скорости на его рабочее место. Технический результат, достигаемый изобретением, заключается в разработке обобщенной принципиальной схемы, по которой можно построить множество разнообразных конкретных механизмов, отличающихся широкими кинематическими и функциональными возможностями, каждый из которых будет обладать общими для всего класса достоинствами, основными из которых являются: минимально возможные для данных передаточного отношения и передаваемого момента вес и габариты, сбалансированность передающего узла по массе, улучшенное распределение сил, а также минимально возможный рабочий объем передающего узла, позволяющий использовать подшипниковые уплотнения и вязкие смазки одноразового заполнения. По данной схеме при прочих равных условиях возможно создание механизма с повышенной нагрузочной способностью, обеспечиваемой созданием двухточечного контакта тел качения с дорожками качения. Один из конкретных вариантов схемы устраняет присущий всем "синусошариковым" передачам недостаток - наличие большого проскальзывания шариков относительно сопряженных с ними поверхностей. Изобретение расширяет

конструктивное многообразие и выполняемые функции волновых передач с промежуточными звеньями, что позволяет легко адаптировать преобразователь к условиям его эксплуатации и встраивать его в самые различные механизмы. Один и тот же передающий узел, выполненный по изобретению, может выполнять функцию редуктора и мультипликатора, при одной входной скорости иметь на выходе две и более, либо менять выходную скорость в зависимости от соотношения двух входных, и все эти функции реализовать в одном передающем узле, т.е. для одной ступени.

Для достижения поставленных целей дифференциальный преобразователь скорости, выполненный по схеме волновой передачи с промежуточными телами качения, как и прототип, содержит волновой генератор и передающий узел с цепочкой тел качения. Передающий узел содержит звенья, каждое из которых имеет профилированную кулачковую поверхность в виде периодической по азимуту дорожки качения. Тела качения находятся в постоянном контакте с дорожками качения каждого звена. Одно из звеньев связано с волновым генератором, дорожка качения, по меньшей мере, еще одного звена периодически изогнута по замкнутой линии. В отличие от прототипа, передающий узел содержит, по меньшей мере, три звена, выполненных в виде обойм и расположенных друг относительно друга так, что каждая из обойм сопрягается с двумя соседними, причем, по меньшей мере, две обоймы сопрягаются своими пересекающимися поверхностями. Периодические дорожки качения выполнены в месте пересечения этих поверхностей. Обойма, связанная с волновым генератором, выполнена воздействующей на тела качения в направлении, выбранном из любых направлений в плоскости осевого сечения преобразователя, и замкнутые периодически изогнутые дорожки качения других обойм выполнены с направлением изгиба, совпадающим с направлением воздействия волнового генератора. Амплитуда изгиба дорожек качения при таком расположении обойм должна быть меньше радиуса тела качения, так как иначе тело качения не сможет находиться в постоянном контакте со всеми дорожками качения.

Периодическая дорожка качения на одной из обойм передающего узла может быть выполнена в виде разнесенных по азимуту лунок, вытянутых в направлении воздействия волнового генератора. Такая обойма выполняет функцию водила - сепаратора, и передающий узел из трех обойм в этом случае будет работать по принципу "двухсинусоидной" передачи. Передающий узел из четырех обойм, на одной из которых выполнены разнесенные по азимуту лунки, будет реализовывать принцип "трехсинусоидной" передачи, в которой обойма с лунками выполняет функцию ненагруженного сепаратора. При большем количестве обойм в передающем узле появляются дополнительные звенья с другими передаточными отношениями.

В передающем узле из четырех обойм, разнесенные по азимуту лунки целесообразно выполнить на двух противолежащих обоймах, механически связанных друг с другом. При этом замкнутые дорожки качения на двух других противолежащих обоймах должны быть выполнены изогнутыми в направлении оси, проходящей через обе обоймы (в направлении между обоймами). Такой преобразователь предназначен для передачи более высоких моментов при тех же габаритах.

Если дорожки качения на всех обоймах выполнить замкнутыми, а между сопрягаемыми поверхностями обойм ввести сепаратор со сквозными прорезями для волнового перемещения тел качения, то при одном и том же количестве обойм передающего узла можно получить преобразователь с дополнительными выходными звеньями с двумя и более различными скоростями на них. Сепаратор в такой конструкции не является нагруженным звеном, его функция сводится только к фиксации углового положения шариков при прохождении ими совпадающих вершин и впадин всех периодических дорожек. Форма сепаратора в этом случае будет соответствовать форме сопрягающихся поверхностей, т.е. сепаратор будет представлять собой поверхность вращения с одним или двумя ребрами жесткости. Сепаратор такой формы при прочих равных условиях будет иметь более высокую прочность, чем сепаратор прототипа, что позволяет выполнить его меньшей толщины и сместить точки приложения сил к центру шарика, что улучшает их распределение. Кроме того, сепаратор в области пересечения поверхностей целесообразно выполнить с утолщением, размеры и форма которого соответствуют пространству между дорожками качения. Утолщение еще более повысит прочность сепаратора при прочих равных условиях.

В преобразователе скорости с осевым волновым перемещением тел качения периодическая дорожка качения обоймы волнового генератора может быть выполнена в виде наклонной к оси вращения кольцевой канавки или (что то же самое) в виде кольцевой дорожки качения разной глубины. Угол наклона ограничен тем, что расстояние вдоль оси между диаметрально противоположными сторонами кольцевой канавки (амплитуда периодической дорожки качения) должно быть меньше радиуса тела качения, чтобы все тела качения находились в одновременном и постоянном контакте со всеми дорожками качения. Осевые габариты передающего узла по сравнению с прототипом практически не увеличиваются, а генератор воздействует на тела качения в осевом направлении, что создает уравновешенную систему шариков относительно оси. Если замкнутую периодическую дорожку качения обоймы

волнового генератора выполнить в виде не только наклонной, но и эксцентрично смещенной относительно оси вращения кольцевой канавки, то получим передающий узел с радиально - осевым волновым перемещением тел качения. Такой вариант предпочтителен для передающего узла из четырех обойм, в котором замкнутые дорожки качения выполнены на обоймах, расположенных по диагонали, а на двух других диагонально расположенных обоймах выполнены лунки. Максимальная нагрузка будет приходиться на дно дорожек качения, и становится возможной реализация двухточечного контакта тел качения с замкнутыми дорожками, что повышает нагрузочную способность передающего узла при прочих равных условиях.

Еще в одной конструкции предлагаемого преобразователя обойма волнового генератора выполнена коаксиальной относительно других обойм, сопрягаемые коаксиальные поверхности обойм выполнены в виде сферического пояса, и обойма волнового генератора выполнена с возможностью прецессии относительно центра сферы, а волновой генератор выполнен в виде устройства, вызывающего прецессию обоймы. При выполнении дорожки качения на боковой поверхности обоймы волнового генератора в виде прямой кольцевой канавки, получим передающий узел с осевым волновым перемещением шариков, вызываемым прецессией обоймы волнового генератора. Прямая кольцевая канавка может быть эксцентрично смещена относительно оси вращения. Такой передающий узел реализует радиально - осевое волновое перемещение шариков.

На основе преобразователя с прецессирующей обоймой волнового генератора создана достаточно простая конструкция передаточного механизма с нулевым проскальзыванием. Передающий узел содержит три обоймы. Обойма волнового генератора выполнена коаксиальной относительно двух других, и боковые сопрягаемые поверхности обойм выполнены в виде сферического пояса. Между сопрягаемыми коаксиальными поверхностями расположен тонкостенный сепаратор со сквозными продольными прорезами. Периодическая дорожка качения на боковой поверхности прецессирующей обоймы волнового генератора выполнена в виде зигзагообразной в осевом направлении замкнутой канавки. Две другие обоймы торцами соединены друг с другом, а их периодические дорожки качения выполнены с одинаковым числом периодов так, что образуют общую зигзагообразную в осевом направлении замкнутую канавку на общей боковой поверхности обойм. Прецессирующая обойма связана с дополнительно введенной обоймой узлом передачи вращения между несоосными валами. Этот узел должен передавать вращение при изменяющемся угле наклона валов друг к другу.

Узел передачи вращения между несоосными валами может быть выполнен в виде крестовины или системы гибких тяг или рычагов. Он может быть выполнен также по любой из известных схем. Например, это может быть компенсирующая или подвижная муфты, шаровая синхронная муфта и др. механизмы.

Дифференциальный преобразователь с нулевым проскальзыванием можно выполнить двухступенчатым с двумя передающими узлами. Для этого дополнительно введенная обойма выполнена также прецессирующей, коаксиально с ней размещены обоймы второго передающего узла со второй цепочкой тел качения, а узел передачи вращения между прецессирующими обоймами выполнен в виде устройства передачи вращения между параллельными осями. Такую функцию выполняет механизм с параллельными кривошипами, муфта Ольдгема, или, например, механизм, использованный в передачах по патентам US N 4829851, 16.05.1989, или US N 4643047, 17.02.1987, и являющийся, по сути, параллельным кривошипом с шариковым зацеплением. Последний механизм наиболее предпочтителен, так как обладает наименьшим трением.

Волновой генератор, обеспечивающий прецессию обойм, можно выполнить в различных вариантах. Нами разработаны два варианта волнового генератора, которые хорошо вписываются в концепцию формирования преобразователя в виде подшипникового блока. По обоим вариантам генератор содержит вал, выполненный в виде обоймы, расположенной коаксиально с прецессирующими обоймами с противоположной стороны от их профилированных кулачковых поверхностей. В первом варианте на сопрягаемых боковых поверхностях вала генератора и прецессирующих обойм выполнены кольцевая канавка и кольцевой выступ, введенный в канавку и сопрягающийся с нею так, что между выступом и канавкой с противоположных сторон от выступа и диаметрально противоположно друг другу размещены два шарика. Такой генератор пригоден как для одноступенчатого, так и для двухступенчатого преобразователей.

Волновой генератор, выполненный по второму варианту, предназначен для двухступенчатого преобразователя с двумя прецессирующими обоймами и позволяет передавать крутящий момент между пересекающимися валами. Обойма вала волнового генератора выполнена с двумя косыми кривошипами и снабжена колесом наружного зацепления, расположенным между передающими узлами и выступающим за пределы наружных обойм передающих узлов. Прецессирующие обоймы посажены на кривошипные валы с помощью подшипников. Колесо вала волнового генератора является входным элементом преобразователя скорости, и вращение на него может передаваться с помощью червячной, конической зубчатой или фрикционной передачи.

Возможна также реализация двухступенчатого преобразователя без введения дополнительной прецессирующей обоймы. В этом случае дополнительный передающий узел komponуется на противоположной от первого передающего узла боковой поверхности прецессирующей обоймы. Для этого на этой поверхности выполняется вторая зигзагообразная дорожка качения, дополнительно вводится еще одна коаксиальная обойма с периодической дорожкой качения на боковой поверхности, обращенной к прецессирующей обойме, и дополнительная цепочка тел качения. Вторая прецессирующая обойма с дополнительной обоймой и цепочкой тел качения образуют второй передающий узел. Конструкция такого двухступенчатого преобразователя еще более упрощена, т.к. в нем отсутствует узел передачи вращения между несоосными валами.

Изобретение иллюстрируется графическими материалами, на которых представлены различные варианты реализации изобретения. Следует оговориться, что возможные варианты не ограничиваются представленными конструкциями. На фиг. 1, 3, 4, 5, 6, 9, и 12 представлены схемы компоновки передающего узла, выполненные по предлагаемому изобретению. На фиг. 2 показан вид по А-А передающего узла фиг. 1. На фиг. 7 показана обойма, выполняющая функцию водила на фиг. 6, и ее вид по Б-Б. На фиг. 8 показана отдельно обойма, являющаяся дополнительным выходом в преобразователе на фиг. 6. На фиг. 9 и 11 приведены схемы передающего узла с введенным между сопрягаемыми поверхностями обойм сепаратором. Внешний вид сепаратора для трехзвенного передающего узла показан на фиг. 10. Фиг. 13 схематически иллюстрирует передающий узел с прецессирующей обоймой и с осевым перемещением тел качения, а на фиг. 14 показан один из вариантов конструкции преобразователя с таким передающим узлом. Фиг. 15 представляет вариант преобразователя с нулевым проскальзыванием, а на фиг. 16 изображена развертка, иллюстрирующая взаимодействие дорожек и тел качения для этого преобразователя. Фиг. 17, 18 иллюстрируют тот же преобразователь с различным выполнением узла передачи вращения между несоосными валами и различными волновыми генераторами. На фиг. 19, 20, 21 представлены схемы двухступенчатого преобразователя с двумя прецессирующими обоймами, отличающиеся друг от друга конструкциями волнового генератора и узла передачи вращения между параллельными валами. И, наконец, фиг. 22 и 23 показывают схемы преобразователя с двумя коаксиальными передающими узлами, реализованными на одной прецессирующей обойме.

Передающий узел на фиг. 1, 3 и 4 содержит три обоймы, на фиг. 5 и 6 - четыре обоймы с разным взаимным расположением сопрягающихся поверхностей, а на фиг. 12 представлен передающий узел из пяти обойм. На всех фигурах цифрами 1 обозначена обойма волнового генератора, 2 - тела качения - шарики, 3, 4, 5 и 6 - остальные обоймы передающего узла. Обоймы расположены друг относительно друга так, что каждая из обойм сопрягается с двумя соседними (обойма 1 на фиг. 1, 3, 4 сопрягается с обоймами 3 и 4, а на фиг. 5 и 6 с обоймами 4 и 5). Кроме того, по меньшей мере, две обоймы сопрягаются своими пересекающимися поверхностями (обоймы 1 и 4 - на фиг. 1, обоймы 3 и 4 - на фиг. 3; и все обоймы на остальных фигурах). Форма поперечного сечения обойм может быть разнообразной и определяется двумя основными требованиями. Первое требование связано с тем, что все обоймы должны иметь постоянный контакт с шариками 2, поэтому угол между пересекающимися сопрягающимися поверхностями каждой обоймы определяется количеством обойм. Второе требование связано с технологичностью изготовления обойм. Каждая из обойм 1, 3-6 имеет периодические дорожки качения для шариков 2, обозначенные соответственно 1', 3', 4', 5', 6'. Дорожки выполнены в месте пересечения сопрягающихся поверхностей обойм и в разных конструкциях имеют различное направление изгиба. Направление изгиба всех дорожек качения одного передающего узла одинаково.

На фиг. 1, 3 и 6 показаны передающие узлы с изгибом дорожек качения и перемещением шариков в осевом направлении (вдоль оси преобразователя ОО'). Периодически изогнутая образующая дорожек качения 1' и 3' на обоймах 1 и 3 - это замкнутая зигзагообразно изогнутая в осевом направлении линия, которая лежит на воображаемой сферической поверхности радиуса  $R$  в ее экваториальной области. В случае, если амплитуда волнового перемещения шарика много меньше радиуса  $R$ , то воображаемую сферическую поверхность приближенно можно заменить цилиндрической поверхностью с образующей  $CC'$ . В нашем случае, это условие выполняется при  $g \ll R$ , так как амплитуда волнового перемещения шарика не может превышать его радиус  $g$ , иначе шарик выйдет из контакта с одной или несколькими обоймами.

Передающие узлы на фиг. 4, 5, 9, 11 и 12 имеют радиально-осевое направление изгиба дорожек качения, то есть периодической образующей дорожек качения 1', 3', 5' и 6' является зигзагообразно изогнутая в осевом направлении замкнутая линия на воображаемой конической поверхности с образующей  $BB'$ .

Таким образом, в осевом сечении преобразователя все обоймы с дорожками качения расположены вокруг шариков 2 и сопрягаются друг с другом, а дорожки качения образуют полости для шариков с замкнутым в осевом сечении контуром.

Передающий узел, представленный фиг. 1 и 2, реализует двухсинусоидную

передачу. Периодическая дорожка качения 1' обоймы 1 волнового генератора представляет собой замкнутую косую канавку 7 (или канавку разной глубины), выполненную в месте пересечения боковой 8 и торцевой 9 поверхностей обоймы 1. Число периодов дорожки качения в этом случае равно 1. Дорожка качения 4' на обойме 4 представляет собой систему разнесенных по азимуту лунок 10, чередующихся с выступами 11, выполненных также в месте пересечения поверхностей обоймы 4. Лунки имеют глубину, соответствующую максимальной глубине канавки 7, и полукруглый профиль, соответствующий профилю шарика 2. Высота  $h$  выступов 11 над торцевой поверхностью обоймы 4 определяется минимальной глубиной  $l_{\min}$  косой канавки 7 и равна  $h = r - l_{\min}$ , где  $r$  - радиус шарика 2. Число лунок 10 равно числу шариков 2. Обойма 4 с лунками 10 выполняет функцию водила - сепаратора, т. е. фиксирует взаимное угловое расположение шариков и воспринимает вращательный момент от цепочки шариков как единого целого. Выступы 11 предназначены для удерживания шариков 2 в крайнем осевом положении, т. е. в месте минимальной глубины канавки 7 (на фиг. 1 в положении справа). Периодическая дорожка качения 3' на обойме 3 представляет собой также замкнутую периодическую дорожку качения на торцевой поверхности обоймы 3, с числом периодов  $nk \pm 1$  (где  $n$  - целое число, а  $k$  - число шариков). Периодическая образующая дорожки качения 3', являющаяся в данном случае и средней линией дорожки, лежит на цилиндрической поверхности с образующей  $CC'$  и изогнута в осевом направлении. Периодическую дорожку 3' можно получить периодическим смещением кольцевой канавки в осевом направлении. Величина этого смещения (или амплитуда периодической дорожки) должна быть не больше радиуса тела качения, чтобы шарик мог находиться в одновременном контакте со всеми тремя дорожками качения. Т.е. расстояние между дорожкой качения 1' на обойме волнового генератора 1 в месте ее максимальной глубины и дорожкой 3' на ее вершине равно диаметру шарика 2. На фиг. 1, 2 показаны силы, действующие на шарик 2 со стороны обойм. Сила  $F_{\text{ген}}$ , действующая со стороны обоймы 1 волнового генератора, и сила  $F_{\text{пер}}$  реакции периодической дорожки качения на обойме 3 направлены вдоль оси, проходящей через центр шарика 2 и совпадающей с направлением его волнового перемещения, поэтому имеют только одну составляющую, выполняющую полезную работу. Буквой  $F_{\text{вод}}$  обозначена сила, действующая со стороны шарика на обойму 4, выполняющую в данной конструкции функцию водила - сепаратора. Эта сила, приложенная к краю лунки 10 и направленная по касательной к обойме 4, обуславливает появление момента вращения. Если обойма 1 волнового генератора связана с ведущим валом, то при неподвижном водиле - сепараторе 4 ведомым звеном будет обойма 3, а при неподвижной посадке на корпус обоймы 3, ведомым звеном будет являться водило - сепаратор 4 с лунками 10. Следует отметить, что дорожка качения 1' на обойме 1 волнового генератора может быть выполнена и многопериодной, расположение и баланс сил от этого не изменятся, а изменится только передаточное отношение.

Изображенная на фиг. 3 схема преобразователя отличается от предыдущей только тем, что периодическая дорожка качения 1' выполнена в виде косой кольцевой канавки на наружной боковой поверхности обоймы 1 волнового генератора, а замкнутая периодическая дорожка 3' выполнена в месте пересечения внутренней боковой и торцевой поверхностей обоймы 3. Благодаря такому выполнению обоймы волнового генератора, силовой поток поступает к шарiku в обоих полупериодах действия волнового генератора (сила  $F_{\text{ген}}^1$  действует в одном полупериоде, а  $F_{\text{ген}}^2$  - во втором полупериоде).

В преобразователе на фиг. 4 все три обоймы 1, 3, 4 сопрягаются своими пересекающимися поверхностями, и периодические дорожки выполнены в месте пересечения двух поверхностей каждой из обойм. Периодическая дорожка качения 1' на обойме 1 представляет собой косую и эксцентрично смещенную канавку, выполненную в месте пересечения поверхностей обоймы 1. Образующая периодической изогнутой дорожки качения 3' лежит на поверхности воображаемого конуса с образующей  $BB'$  и дорожка качения получается с выступами и впадинами в радиально-осевом направлении, т.е. шарик 2 перемещается возвратно-поступательно вдоль  $BB'$ . Периодическая дорожка на обойме 4, являющейся водилом - сепаратором, прерывистая и представляет собой систему разнесенных по окружности лунок 10, вытянутых в направлении  $BB'$ , чередующихся с выступами 11. Взаимное расположение обойм 1 и 3 обеспечивает приложение сил  $F_{\text{ген}}$  и  $F_{\text{пер}}$  не у краев дорожек качения, и появляется возможность реализации двухточечного контакта тел качения 2 с дорожками.

Преобразователи скорости с передающими узлами из 4 звеньев показаны на фиг. 5 и 6. Такой передающий узел может быть выполнен как по двухсинусоидной схеме, так и по трехсинусоидной. В качестве примера на фиг. 5 передающий узел выполнен по двухсинусоидной схеме, а на фиг. 6 по трехсинусоидной. В схеме на фиг. 5 периодическая канавка 1' на обойме волнового генератора 1 выполнена в месте пересечения торцевой и боковой поверхностей обоймы в виде эксцентрично смещенной относительно оси  $OO'$  преобразователя и наклонной к ней кольцевой канавки. Периодическая образующая замкнутой канавки 3' лежит на воображаемой



конической поверхности с образующей ВВ', и выступы и впадины дорожки качения направлены вдоль ВВ'. Периодические дорожки качения на обоймах 4 и 5 выполнены прерывистыми в виде разнесенных по окружности лунок - прорезей 12 и 13, вытянутых в направлении ВВ', чередующихся с выступами 11. Обоймы 4 и 5 механически соединены друг с другом и вместе выполняют функцию водила - сепаратора двухсинусоидного передающего узла для передачи более высоких моментов. В нем силовые потоки  $F_{\text{ген}}$  и  $F_{\text{пер}}$  в дорожках 1' и 3' проходят через середины дорожек, что позволяет реализовать двухточечный контакт шариков 2 с дорожками качения. Силовой поток через водило - сепаратор (обоймы 4 и 5)  $F_{\text{вод}}$  также может быть увеличен, так как он распределяется на два потока, приложенных к обоймам 4 и 5, т.к. шарики 2 взаимодействуют с двумя системами лунок 12 и 13. Все вышесказанное справедливо и для передающего узла, изображенного на фиг. 6, если в нем обоймы 4 и 5 выполнены одинаково и являются водилом - сепаратором.

Все обоймы передающего узла на фиг. 6 имеют треугольное поперечное сечение. Этот узел разработан для осевого перемещения тел качения, так как в нем улучшена балансировка шариков и соответствующие дорожки качения более просты в изготовлении. Например, дорожка качения обоймы 1 волнового генератора представляет собой кольцевую канавку разной глубины, выполненную в месте пересечения сопрягаемых поверхностей обоймы 1. Периодическая дорожка качения 3' представляет собой периодически смещенную в осевом направлении замкнутую кольцевую канавку. На фиг. 7 показан общий вид обоймы 4 и вид по Б-Б на прерывистую периодическую дорожку 4'. Она представляет собой вытянутые в осевом направлении лунки - прорези 14, выполненные по окружности пересечения поверхностей 16 и 17 обоймы 4. Лунки 14 чередуются с выступами 15, предназначенными для удержания шариков 2 в крайних осевых положениях.

Если в преобразователях на фиг. 5 и 6 лунки - прорези 14 выполнить только на одной обойме 4, а на обойме 5 выполнить периодическую замкнутую дорожку качения 5', аналогичную дорожке 3', но с другим числом периодов, то будем иметь преобразователь с двумя выходами с разными передаточными отношениями на них. Числа периодов дорожек качения должны удовлетворять условию:

$$z_3 = nk \pm z_1, z_5 = mk \pm z_1, (1)$$

где  $n$  и  $m$  - целые числа;  $k$  - число шариков, равное числу лунок 14 обоймы 4;  $z_1, z_3, z_5$  - числа периодов обоймы волнового генератора и обойм 3 и 5, соответственно (см. Игнатищев Р. М.// Трехсинусоидная шариковая передача. "Вестник машиностроения", 1987, N 2). Дорожка качения 5' выполняется в месте пересечения поверхностей 18 и 19 обоймы 5 (см. фиг. 8) и представляет собой изогнутую в осевом направлении замкнутую канавку.

Следует отметить, что по схеме на фиг. 6 можно выполнять и передающий узел с радиальным волновым перемещением шариков, для этого обоймы 1 и 3 нужно поменять местами с обоймами 4 и 5.

Преобразователь с передающим узлом из трех обойм также может реализовать трехсинусоидную схему (см. фиг. 9), для этого периодические дорожки качения на всех трех обоймах выполнены замкнутыми, а между сопрягаемыми поверхностями обойм введен тонкостенный сепаратор 20 (см. фиг. 10). Тонкостенный сепаратор 20, так же как и в прототипе, служит для взаимного углового фиксирования шариков 2 при прохождении ими выступов или впадин одновременно всех трех периодических дорожек качения. Форма сепаратора повторяет форму сопрягаемых поверхностей. В данном случае сепаратор состоит из двух пересекающихся поверхностей: цилиндрической 21 и пересекающейся с нею плоской поверхности 22. В месте пересечения поверхностей 21 и 22 по окружности выполнены прорези 23 для шариков 2. Прорези не должны ограничивать волнового перемещения шариков. Сепаратор в месте пересечения поверхностей 21 и 22 желательно выполнить с утолщением 24, размеры и форма которого определяются сопрягаемыми дорожками качения 1', 3' и 4' и будут различны для преобразователей с разным направлением волнового перемещения шариков. Утолщение 24 занимает свободное пространство между дорожками качения и не будет изменять точек приложения и баланс сил. Т.к. в сепараторе 20 пересекающиеся поверхности 21 и 22 образуют ребра жесткости и конструкция усилена элементом 24, то стенки сепаратора 21 и 22 могут быть выполнены более тонкими, чем в прототипе. За счет этого силы, приложенные к шарикам 2 со стороны дорожек качения, очень мало смещаются от направления, проходящего через центр шарика, и их разложения на две составляющие практически не происходит. Если сепаратор 20 ввести в передающий узел из четырех обойм (фиг. 11) и все дорожки качения выполнить замкнутыми, то у трехсинусоидной передачи появляется дополнительное выходное звено - обойма 5.

Такими же свойствами обладает передающий узел из пяти обойм, расположенных вокруг цепочки шариков 2 (см. фиг. 12). Здесь обойма 4 выполнена с прерывистой периодической дорожкой качения 4', представляющей собой систему разнесенных по азимуту лунок, чередующихся с выступами (так же как и на фиг. 5). Периодические дорожки качения на остальных обоймах замкнуты, одна из них является обоймой волнового генератора, а остальные - выходными звеньями преобразователя.

Рассмотрим работу преобразователя, реализованного по схеме с тремя звеньями.

Входным звеном для редуктора является обойма 1 волнового генератора. Для этого ее необходимо посадить на выходной вал приводного устройства. Одна из обойм передающего узла должна быть закреплена неподвижно, т.е. установлена в корпусе. Это может быть обойма 3 с замкнутой дорожкой качения, либо обойма 4 с прерывистой дорожкой качения. Выбор неподвижной обоймы производится для каждого конкретного механизма исходя из удобства посадки преобразователя на его рабочее место. Для простоты рассмотрим работу однопериодного волнового генератора с косой или эксцентричной кольцевой канавкой на обойме 1. При повороте обоймы 1 волнового генератора на один оборот, каждый шарик 2 последовательно совершит одну волну возвратно-поступательного перемещения. Направление этого перемещения относительно оси преобразователя  $OO'$  может быть различным: параллельным оси (осевым), перпендикулярным (радиальным) или под некоторым углом (радиально-осевым). Перемещения каждого шарика 2 соответствуют колебательному движению всей цепочки шариков относительно оси  $OO'$  преобразователя. Это колебательное движение является прецессией в случае осевой передачи, плоскопараллельным сателлитно - планетарным движением - в случае радиальной передачи, и сложным, включающим в себя прецессию и плоское сателлитно - планетарное движение, в радиально-осевой передаче. Шарик 2, взаимодействуя как кулачки, с периодической дорожкой качения 3' на обойме 3 и с лунками 10 на обойме 4, повернут одну из указанных обойм относительно другой на угол, равный периоду дорожки качения 3'. Предлагаемый преобразователь может работать и в режиме дифференциала, для этого одну из обойм 3 или 4 нужно соединять не с корпусом, а с другим приводным механизмом. Тогда на выходе преобразователя скорость вращения будет зависеть от соотношения входных скоростей и передаточного числа. Передающий узел на фиг. 5 работает аналогично, так как, хотя и выполнен из четырех обойм, но, по сути, является трехзвенным, так обоймы 4 и 5 выполняют функцию одного звена, а именно, водила - сепаратора.

Работу преобразователя с четырьмя и более звеньями рассмотрим на примере преобразователя, изображенного на фиг. 6. Здесь обоймы 1, 3 и 4 взаимодействуют так, как это было описано выше для трехзвенной передачи. Обойма 5 с дорожкой качения 5', число периодов которой удовлетворяет соотношению (1) и не равно числу периодов дорожки 3', является вторым выходным звеном передающего узла. Шарик 2 при волновом возвратно-поступательном перемещении воздействуют не только на обойму 3, но также и на обойму 5, поворачивая ее относительно неподвижной обоймы на угол, равный периоду дорожки качения 5'. Таким образом, появляется возможность с одного передающего узла снимать две и более скоростей вращения. Следует отметить, что момент вращения, который может передать обойма 5, будет меньше момента, передаваемого через обойму 3, т.к. дорожка качения 5' будет работать в условиях распределения сил, приближенных к прототипу. (Силы  $F_1$  и  $F_3$  лежат на одной прямой, проходящей через центр шарика, а сила  $F_5$  смещена от этой прямой)

В вышеописанных конструкциях с осевым перемещением шарика, вызываемым его качением по кривой канавке 1' обоймы волнового генератора 1, шарик 2 участвуют в сложном движении, включающем его обкатные движения по кривой кольцевой канавке 1' и периодическое движение в лунках обоймы 4. Такое движение сопровождается проскальзыванием шариков и большими потерями на трение. Для уменьшения проскальзывания была разработана схема преобразователя с прецессирующей обоймой (фиг. 13). Здесь обойма волнового генератора 1 выполнена коаксиальной относительно других обойм 3 и 4 передающего узла. Прецессия обеспечивается волновым генератором, конкретные оригинальные конструкции которого описаны ниже. Замкнутая дорожка качения на обойме 1 выполнена в виде прямой кольцевой канавки 25. Коаксиальные сопрягаемые поверхности 26, 27 и 28 обойм 1, 3, и 4 имеют форму сферического пояса с радиусом сферы  $R$ , равным радиусу сопрягаемых коаксиальных поверхностей. Дорожки качения на обоймах 3 и 4 для двухсинусоидной передачи будут такими же, как и в преобразователе на фиг. 1. Для трехсинусоидной передачи дорожки качения на всех обоймах должны быть выполнены замкнутыми, и между сопрягаемыми поверхностями обойм должен находиться тонкостенный сепаратор (на фиг. 13 не показан). Преобразователь с таким передающим узлом работает следующим образом. Одному повороту вала волнового генератора соответствует одно движение обоймы 1, при котором ее ось вращения опишет также один оборот относительно оси преобразователя  $OO'$ . Обойма 1 при этом может качаться без вращения и вызовет одно возвратно-поступательное движение шарика 2 вдоль оси, параллельной оси преобразователя. Взаимодействие шарика 2 с дорожками качения обойм 3 и 4 происходит так же, как это описано выше для осевых передач. Так как у шариков исчезает одно из обкатных движений по дорожке качения 1', то уменьшается проскальзывание и повышается КПД передачи. Остается только трение о стенки лунок 10 обоймы 4 при возвратно-поступательном движении шариков. Для расширения диапазона передаточных отношений волновой генератор в такой передаче, так же как и в других, может быть выполнен и многоволновым (фиг. 14). Этот результат достигается выполнением дорожки качения 1' на прецессирующей обойме 1 в виде периодически изогнутой замкнутой канавки 29. Обойма 1 посажена на

косой кривошип 30 вала 31 волнового генератора с помощью подшипников 32. Обойма 3 выполнена с замкнутой периодической дорожкой качения 3', изогнутой вдоль оси преобразователя. Обойма 4 является водилом - сепаратором и выполнена с лунками 10, чередующимися с выступами 11. Фиг. 14 показывает один из вариантов сборки обойм 1, 3 и 4 передающего узла. Все элементы крепятся на валу 31 волнового генератора. Обоймы 3 и 4 посажены на вал 31 с помощью подшипников 33 и 34, которые закрывают торцы передающего узла.

В преобразователях с прецессирующей обоймой хотя и уменьшено проскальзывание шариков, но все-таки присутствуют достаточно большие силы трения их о стенки лунок водила - сепаратора в двухсинусоидной передаче, или о стенки одной из периодических дорожек качения в случае трехсинусоидной передачи.

Передающий узел преобразователей, изображенных на фиг. 15, 17, 18, а также преобразователей с двумя передающими узлами на фиг. 19, 20, 21, 22, 23 лишен этого недостатка. Передающий узел с нулевым проскальзыванием выполнен на основе трехзвенного передающего узла с прецессирующей обоймой волнового генератора 1. Коаксиальные обоймы 1 обоймы 3 и 4 неподвижно соединены между собой торцами и имеют общую боковую поверхность 35, коаксиальную с боковой поверхностью 36 обоймы 1. Сопрягаемые коаксиальные поверхности 35 и 36 имеют форму сферического пояса, с центром сферы С на оси преобразователя. Эта же точка С является центром прецессии обоймы 1. Дорожки качения 3' и 4' на пересечении сопрягающихся поверхностей обойм 3 и 4 выполнены с одинаковым числом периодов, так что образуют общую зигзагообразно изогнутую замкнутую канавку с осевым направлением изгиба на их общей коаксиальной поверхности 35. Эта канавка противостоит такой же зигзагообразной канавке 1' на боковой поверхности 36 прецессирующей обоймы 1. На развертке (фиг. 16) канавки представляют собой два зубчатых профиля 37 и 38, один из которых наклонен к горизонтальной оси и между которыми расположены тела качения 2. Между коаксиальными поверхностями 35 и 36 расположен тонкостенный сепаратор 39. Прецессирующая обойма 1 связана с дополнительно введенной обоймой 40 узлом передачи вращения между несоосными валами. В конструкции на фиг. 15 этот узел выполнен в виде конической зубчатой передачи 41. На фиг. 17 соответствующий узел выполнен в виде системы гибких тяг или шарнирных рычагов 42, а на фиг. 18 в виде крестовины 43. Следует отметить, что изображенные здесь конструкции не исчерпывают возможных вариантов выполнения этого узла.

Волновой генератор на фиг. 18 выполнен аналогично генератору на фиг. 14 и представляет собой косой кривошип 30 на валу 31 волнового генератора, на котором посредством подшипника 32 посажена прецессирующая обойма 1.

Волновой генератор на фиг. 15 и 17 представляет собой вал 31, введенный коаксиально обоймам передающего узла с противоположной стороны от периодической дорожки качения 1'. В данной конструкции вал 31 расположен внутри прецессирующей обоймы 1. На сопрягаемых боковых поверхностях вала 31 и обоймы 1 выполнены выступ 44 и канавка 45. Между выступом 44 и канавкой 45 с противоположных сторон от выступа и диаметрально противоположно друг другу размещены два шарика 46.

Работает преобразователь с нулевым проскальзыванием следующим образом. Так же как и в вышеописанных вариантах, одна из обойм преобразователя должна быть закреплена неподвижно. В данной конструкции это может быть дополнительная обойма 40, тогда выходным звеном будут являться соединенные между собой обоймы 3 и 4. Если неподвижно закреплены обоймы 3 и 4, то выходным звеном будет являться дополнительная обойма 40. Рассмотрим вариант, когда неподвижна обойма 40. Вращение входного вала 31 вызовет вращение двух шариков 46 по орбите между выступом 44 и кольцевой канавкой 45. Полный оборот шариков 46 по орбите будет соответствовать одной волне прецессии обоймы 1. Вращение вала 31 не будет передаваться обойме 1, так как она развязана с входным валом шариками 46 или подшипником 32. Зубчатый профиль 37 обоймы 1 (см. фиг. 16) будет давить на шарики 2, вызывая их вращение и обкатное движение относительно дорожки 37 на угол, соответствующий периоду этой дорожки. Так как обойма 1 связана с неподвижной обоймой 40, то шарик 2 будет воздействовать на зубчатый профиль 38 и вызовет его поворот относительно цепочки шариков 2 на угол, соответствующий периоду зубчатого профиля 38. Общее перемещение зубчатого профиля 38 относительно профиля 37 будет равно сумме или разности этих перемещений, и передаточное отношение определяется соотношением периодов зубчатых профилей 37 и 38. Поскольку каждый шарик 2 имеет по одной точке касания с зубчатыми профилями 37 и 38, то относительно них обоих он будет катиться без проскальзывания, а вращение передается давлением кулачка - шарика, на профилированную кулачковую поверхность обоймы 3. Следует отметить, что эти рассуждения справедливы для редуктора, в котором входным звеном является вал 31 волнового генератора. Для мультипликатора входные и выходные звенья меняются местами.

Схема преобразователя без проскальзывания перспективна для использования ее в двухступенчатом преобразователе, который обладает большим диапазоном передаточных отношений и предназначен для передачи большей мощности. Схема

позволяет реализовать два варианта двухступенчатого преобразователя. В одном для второго передающего узла используется вторая прецессирующая обойма, а во втором варианте дополнительный передающий узел komponуется на той же прецессирующей обойме на ее противоположной боковой поверхности коаксиально первому передающему узлу. Конструкции преобразователя, реализующего первый вариант, изображены на фиг. 19, 20 и 21.

Прецессирующая обойма 1 с дорожкой качения 1' соединена с дополнительной прецессирующей обоймой 47 узлом передачи вращения между параллельными валами. На фиг. 19 и 20 этот узел выполнен в виде параллельного кривошипа с шариковым зацеплением. Этот механизм представляет собой выполненные на торцевых обраченных друг к другу поверхностях обойм 1 и 47 лунки 48 и 49 и шарики 50. Оси лунок равномерно расположены по окружности каждой обоймы, а диаметры лунок больше диаметра шариков 50 на величину смещения друг относительно друга осей обойм 1 и 47 при их прецессии относительно точек А и В. При прецессии обойм шарики 50, обкатывая лунки 48 и 49, позволяют обоймам 1 и 47 смещаться, но не позволяют им поворачиваться друг относительно друга. То есть, поворот одной из обойм вызовет поворот другой. На фиг. 21 вращение от обоймы 1 к обойме 47 передается общим валом 51, проходящим вдоль оси преобразователя. На валу 51 с помощью крестовин 52 и 53 закреплены обе обоймы.

На боковой поверхности дополнительной обоймы 47 выполнена периодическая дорожка качения 47' для дополнительных тел качения - шариков 54. Коаксиально с обоймой 47 расположена обойма 55 с периодической дорожкой качения 55' на боковой поверхности, обращенной к обойме 47. Обоймы 47 и 55 вместе с шариками 54 образуют второй передающий узел.

Прецессия дополнительной обоймы 47 на фиг. 19 обеспечивается волновым генератором, который представляет собой дополнительный косой кривошип 56 на общем валу 31 и шарикоподшипник 57. На фиг. 20 прецессия обеих обойм 1 и 47 вызвана одним общим генератором. Генератор представляет собой полый вал 31, на котором выполнена прямая канавка 58. Обоймы 1 и 47 выполнены с кольцевыми выступами 59, введенными в канавку 58 на валу генератора. Между стенкой канавки 58 с одной стороны обоймы 1 и между противоположной стенкой канавки 58 с другой стороны обоймы 1 и диаметрально противоположно друг другу введены два шарика 60. При вращении вала 31 генератора шарики 60, обкатывая канавку 58 по ее противоположным стенкам, вызовут прецессию обойм 1 и 47. Цифрами 61 и 62 на фиг. 20 обозначены подшипники, посредством которых элементы преобразователя крепятся на входном валу 31 устройства. Подшипники 61 и 62, кроме того, герметизируют внутренний объем преобразователя. Генератор на фиг. 21 выполнен по схеме с двумя косыми кривошипами на одном валу. Вал в этом случае представляет собой обойму с косыми кривошипами 64 и 65, расположенную коаксиально с прецессирующими обоймами 1 и 47 с противоположной стороны от их периодических дорожек качения 1' и 47'. В данном случае обойма с косыми кривошипами расположена внутри прецессирующих обойм 1 и 47. На косых кривошипах 64 и 65 с помощью подшипников 67 и 68 закреплены прецессирующие обоймы 1 и 47. Вал генератора снабжен колесом наружного зацепления 63, расположенным между передающими узлами, причем колесо 63 выступает за пределы наружных обойм 3 и 55 обоих передающих узлов. Преобразователь с таким генератором может передавать вращение между скрещающимися валами. Для этого наружный венец колеса 63 выполняется как элемент червячной, конической зубчатой или гипоидной передачи. На фиг. 21 схематически показана коническая зубчатая передача. В этом преобразователе входным звеном является зубчатое колесо 63, а отбор мощности можно производить одновременно от обойм 3 и 55, поэтому преобразователь очень эффективен в качестве редуктора заднего моста автомобиля.

Оба передающих узла в двухступенчатом преобразователе снабжены тонкостенными ненагруженными сепараторами 69 и 70.

Работает двухступенчатый преобразователь следующим образом. Допустим, что неподвижно закреплены обоймы 3 и 4. При вращении вала 31 или 63 волнового генератора с угловой скоростью  $\omega_1$  обойма 1 начинает прецессировать с той же скоростью и, воздействуя на шарики 2, заставляет их обкатываться по неподвижной дорожке качения на обоймах 3 и 4 со скоростью  $\omega_2$ , зависящей от числа периодов этой дорожки качения. Обкатное движение шариков 2, в свою очередь, вызовет поворот обоймы 1 относительно цепочки шариков, который зависит от числа периодов дорожки качения 1' на обойме 1. Относительно неподвижных обойм 3 и 4 (относительно корпуса) обойма 1 будет вращаться с угловой скоростью  $\omega_3$ , являющейся функцией числа периодов дорожек качения на обоймах 3, 4 и на обойме 1. Шариками 50 параллельного кривошипа или крестовинами 52 и 53 это вращение передается обойме 47, которая одновременно с вращением прецессирует с угловой скоростью  $\omega_1$ . Шариками 54 второго передающего узла, взаимодействуя с дорожкой качения 47' и дорожкой 55' на обоймах 47 и 55, вызовут поворот последней относительно обоймы 47, на угол, определяемый соотношением периодов дорожек качения 47' и 55'. Общий поворот ведомой обоймы 55 будет зависеть от  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $\omega_3$  и, в

конечном счете, будет определяться числами периодов всех четырех дорожек качения на обоях обоих передающих узлов. Центром прецессии цепочки шариков 2 является точка А, а центром прецессии цепочки шариков 54 - точка В, которые совпадают с центрами прецессии соответствующих обоев. То есть, прецессия каждой цепочки шариков осуществляется относительно точки, лежащей в плоскости этой цепочки, что значительно упрощает требования к профилю периодической дорожки качения.

Преобразователь на фиг. 22 и 23 имеет также два передающих узла, которые реализованы на одной и той же прецессирующей обоей 1. Для этого периодическая дорожка качения 71 выполнена на боковой поверхности прецессирующей обоей 1, противоположной боковой поверхности, на которой выполнена периодическая дорожка 1'. Дополнительная обойма 55 второго передающего узла расположена коаксиально внутри обоей 1, и на ее боковой поверхности, обращенной к обоей 1, выполнена периодическая дорожка качения 55'. Между дорожками 71 и 55' размещена дополнительная цепочка шариков 54. Следует отметить, что данная схема может быть реализована в обращенной геометрии, когда второй узел располагается не внутри, а снаружи первого передающего узла. Волновой генератор представляет собой вал 31 с косым кривошипом 30, взаимодействующим с обоей 1 посредством подшипника 32. На подшипниках 72 и 73 детали преобразователя крепятся на входном и выходном валах, которыми являются вал волнового генератора 31 и дополнительная обойма второго передающего узла 55. Цифрами 69 и 70 обозначены тонкостенные сепараторы обоих передающих узлов. Для повышения долговечности преобразователя силовые потоки через оба передающих узла должны быть одинаковыми. Их можно выравнивать, изменяя относительные размеры шариков 2 и 54.

Работа преобразователя не отличается от вышеописанного. Шарик 2 и 54 передающих узлов совершают осевые колебания, а цепочки шариков прецессируют относительно одного и того же центра (точки А), являющейся центром симметрии преобразователя.

Преобразователи с прецессирующей обоей на всех фигурах имеют внутренний вал волнового генератора и наружный передающий узел. Однако наряду с такой компоновкой узлов преобразователя имеет право на существование обращенный вариант, когда валом волнового генератора является наружная обойма, а все остальные звенья расположены внутри нее.

Таким образом, в заявке описаны разнообразные схемы преобразователя, построенные по одному принципу и имеющие определенные преимущества перед существующими.

#### Формула изобретения

1. Дифференциальный преобразователь скорости, реализованный по схеме волновой передачи с промежуточными телами качения, содержащий волновой генератор и передающий узел, содержащий звенья, каждое из которых имеет профилированную кулачковую поверхность в виде периодической по азимуту дорожки качения, постоянно взаимодействующей с телами качения, одно из звеньев связано с волновым генератором, дорожка качения, по меньшей мере, еще одного звена, периодически изогнута по замкнутой линии, отличающийся тем, что передающий узел содержит, по меньшей мере, три звена, выполненные в виде обоев, расположенных друг относительно друга так, что каждая из обоев сопрягается с двумя соседними, причем, по меньшей мере, две обоей сопрягаются своими пересекающимися поверхностями, периодические дорожки качения выполнены в месте пересечения этих поверхностей, и обойма, связанная с волновым генератором, выполнена воздействующей на тела качения в направлении, выбранном из любых направлений в плоскости осевого сечения преобразователя и замкнутые периодически изогнутые дорожки качения других обоев выполнены с направлением изгиба, совпадающим с направлением воздействия волнового генератора.

2. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 1, отличающийся тем, что между сопрягаемыми поверхностями обоев введен тонкостенный сепаратор, форма которого повторяет форму сопрягаемых поверхностей, со сквозными прорезами для перемещения тел качения, а периодические дорожки качения всех обоев выполнены замкнутыми.

3. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 2, отличающийся тем, что сепаратор в области пересечения поверхностей выполнен с утолщением, размеры и форма которого соответствуют пространству между дорожками качения.

4. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 1, отличающийся тем, что периодическая дорожка качения, по меньшей мере, одной из обоев выполнена прерывистой в виде разнесенных по азимуту лунок, вытянутых в направлении воздействия волнового генератора на тела качения.

5. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 4, отличающийся тем, что в передающем узле из четырех обоев разнесенные по азимуту лунки выполнены на двух противоположных обоях, механически связанных друг с другом, а замкнутые дорожки качения на двух других противоположных обоях выполнены изогнутыми в направлении между ними.

6. Дифференциальный преобразователь скорости по любому из пп. 1-4,

отличающийся тем, что периодическая дорожка качения обоймы волнового генератора выполнена в виде наклонной к оси вращения кольцевой дорожки качения.

7. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 6, отличающийся тем, что периодическая дорожка качения обоймы волнового генератора выполнена в виде эксцентрично смещенной относительно оси вращения кольцевой дорожки качения.

8. Дифференциальный преобразователь скорости по любому из пп. 1-4, отличающийся тем, что обойма волнового генератора выполнена коаксиальной относительно других обойм, сопрягаемые коаксиальные поверхности всех деталей выполнены в виде сферического пояса, и обойма волнового генератора выполнена с возможностью прецессии относительно центра сферы, а волновой генератор выполнен в виде устройства, вызывающего прецессию.

9. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 8, отличающийся тем, что периодическая дорожка качения обоймы волнового генератора выполнена на ее боковой поверхности в виде прямой кольцевой канавки.

10. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 9, отличающийся тем, что кольцевая канавка обоймы волнового генератора эксцентрично смещена относительно оси вращения.

11. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 2, отличающийся тем, что передающий узел содержит три обоймы, обойма волнового генератора выполнена коаксиальной относительно двух других обойм, сопрягаемые коаксиальные поверхности всех деталей выполнены в виде сферического пояса, и обойма волнового генератора выполнена с возможностью прецессии относительно центра сферы, волновой генератор выполнен в виде устройства, вызывающего прецессию, а периодическая дорожка качения на боковой поверхности обоймы волнового генератора выполнена в виде зигзагообразной в осевом направлении замкнутой канавки, две другие обоймы торцами соединены друг с другом и их периодические дорожки качения выполнены замкнутыми с одинаковым числом периодов так, что образуют общую зигзагообразную канавку на общей боковой поверхности соединенных обойм, и введена дополнительная обойма, связанная с прецессирующей обоймой узлом передачи вращения между несоосными валами.

12. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 11, отличающийся тем, что узел передачи вращения между несоосными валами выполнен в виде крестовины.

13. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 11, отличающийся тем, что узел передачи вращения между несоосными валами выполнен в виде системы гибких тяг или рычагов.

14. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 11, отличающийся тем, что дополнительно введенная обойма выполнена также прецессирующей, коаксиально с ней размещены обоймы второго передающего узла со второй цепочкой тел качения, а узел передачи вращения между прецессирующими обоймами выполнен в виде устройства передачи вращения между параллельными валами.

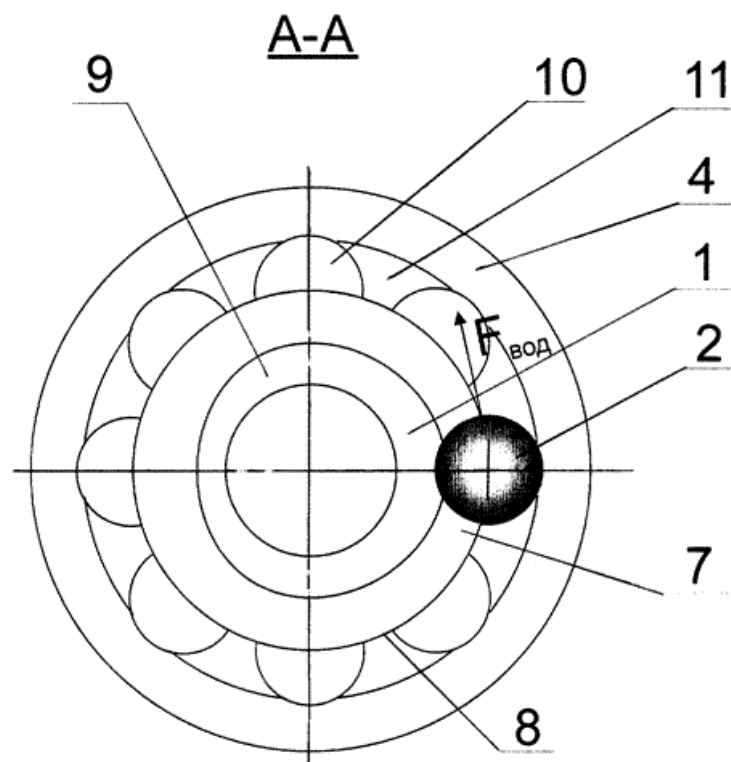
15. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 14, отличающийся тем, что узел передачи вращения между параллельными валами выполнен в виде механизма с параллельными шариковыми кривошипами.

16. Дифференциальный преобразователь скорости по любому из пп. 8-15, отличающийся тем, что волновой генератор, обеспечивающий прецессию, содержит вал, выполненный в виде обоймы, расположенной коаксиально с прецессирующими обоймами с противоположной стороны от их профилированных кулачковых поверхностей, на сопрягаемых поверхностях вала генератора и прецессирующих обойм выполнены кольцевая канавка и кольцевой выступ, введенный в канавку и сопрягающийся с ней так, что между выступом и канавкой с противоположных сторон от выступа и диаметрально противоположно друг другу размещены два шарика.

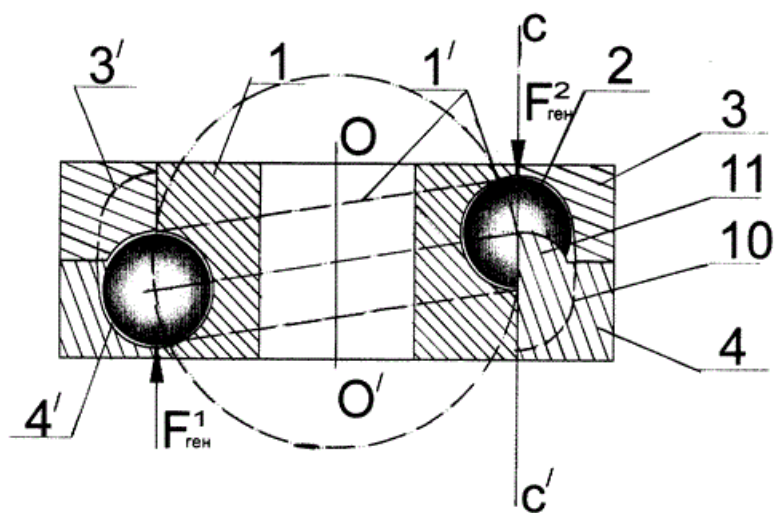
17. Дифференциальный преобразователь по п. 14, отличающийся тем, что волновой генератор, обеспечивающий прецессию, содержит вал, выполненный в виде обоймы с двумя косыми кривошипами, на которых с помощью подшипников посажены прецессирующие обоймы, вал снабжен колесом наружного зацепления, расположенным между передающими узлами и выступающим за пределы наружных обойм передающих узлов.

18. Дифференциальный преобразователь скорости по п. 2, отличающийся тем, что передающий узел содержит три обоймы, обойма волнового генератора выполнена коаксиальной относительно двух других обойм, сопрягаемые коаксиальные поверхности всех деталей выполнены в виде сферического пояса, и обойма волнового генератора выполнена с возможностью прецессии относительно центра сферы, волновой генератор выполнен в виде устройства, вызывающего прецессию, а периодическая дорожка качения на боковой поверхности обоймы волнового генератора выполнена в виде зигзагообразной в осевом направлении замкнутой канавки, две другие обоймы неподвижно соединены друг с другом и их периодические дорожки качения выполнены замкнутыми с одинаковым числом периодов так, что образуют общую зигзагообразную канавку на общей боковой поверхности соединенных обойм, на боковой поверхности прецессирующей обоймы, противоположной ее боковой поверхности с периодической дорожкой качения, выполнена вторая периодическая дорожка качения, образующая вместе с

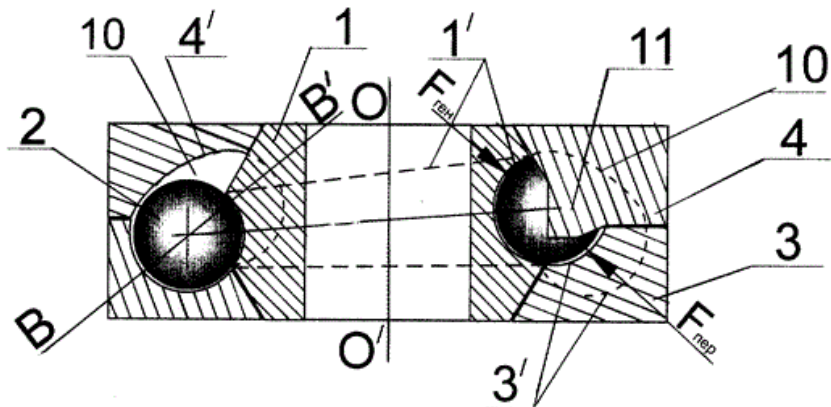
периодической дорожкой качения на боковой поверхности дополнительно введенной коаксиальной обоймы и с дополнительной цепочкой тел качения второй передающий узел.



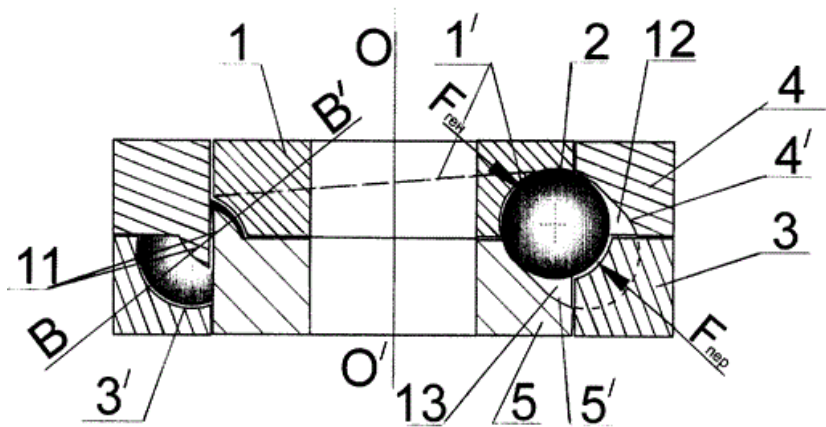
Фиг.2



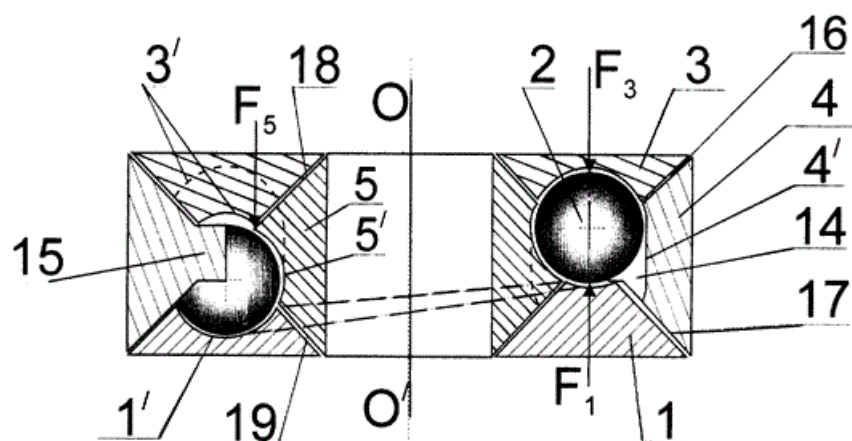
Фиг.3



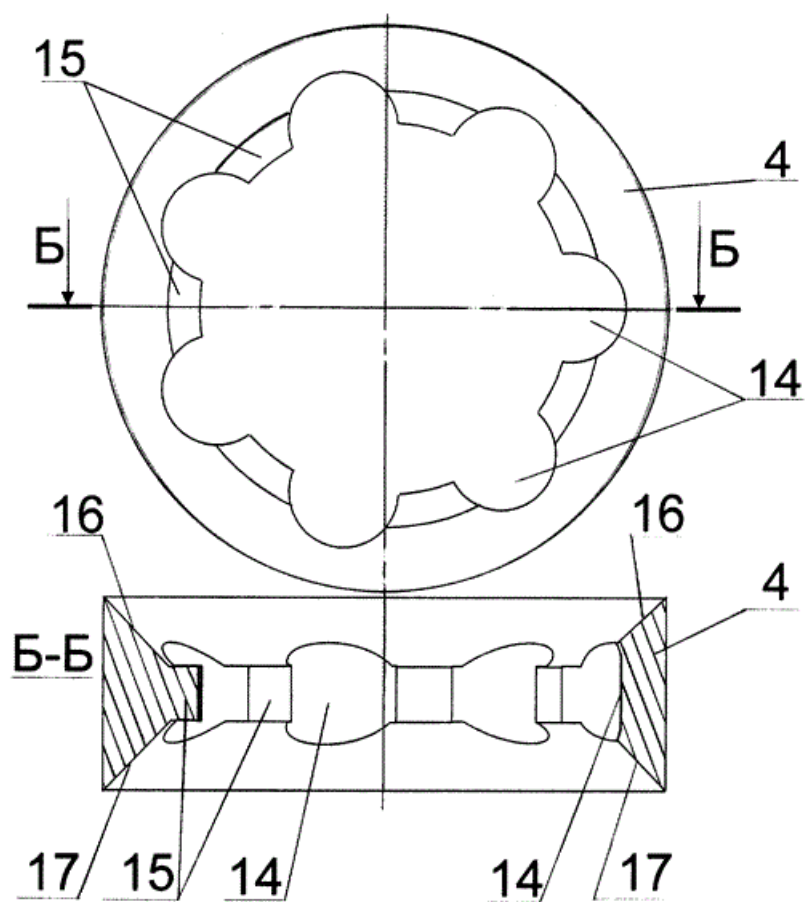
Фиг.4



Фиг.5

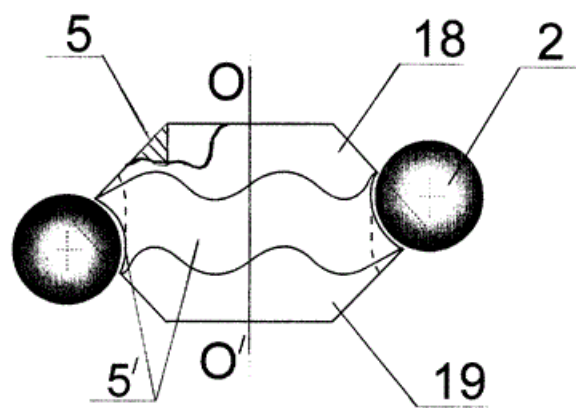


Фиг.6

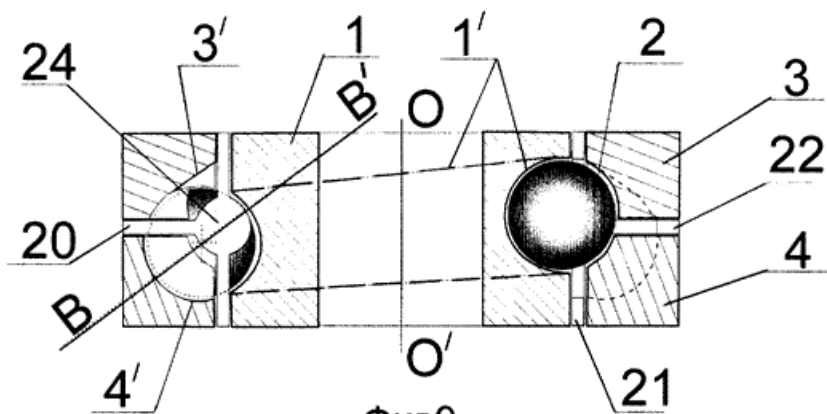


Фиг.7

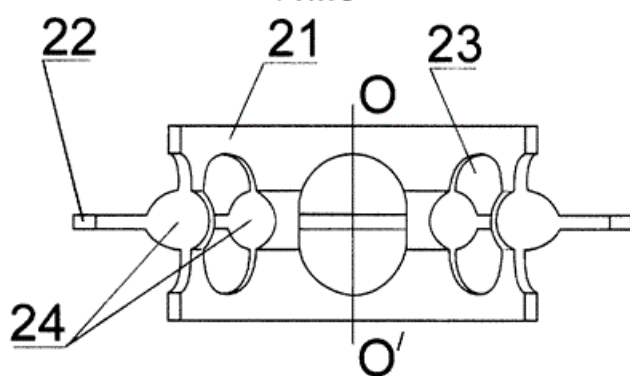




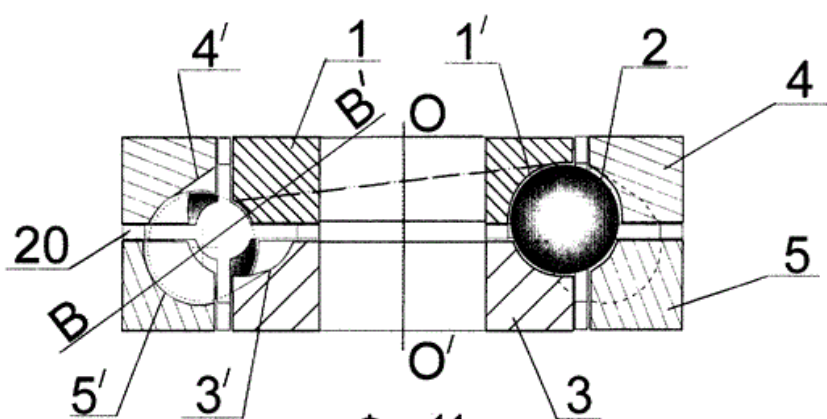
Фиг.8



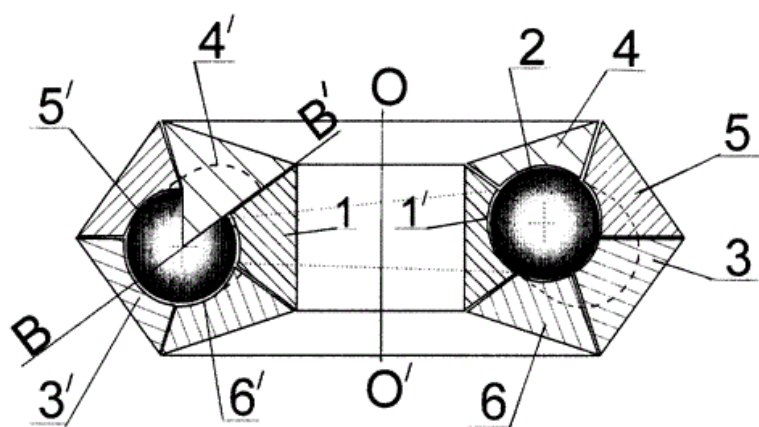
Фиг.9



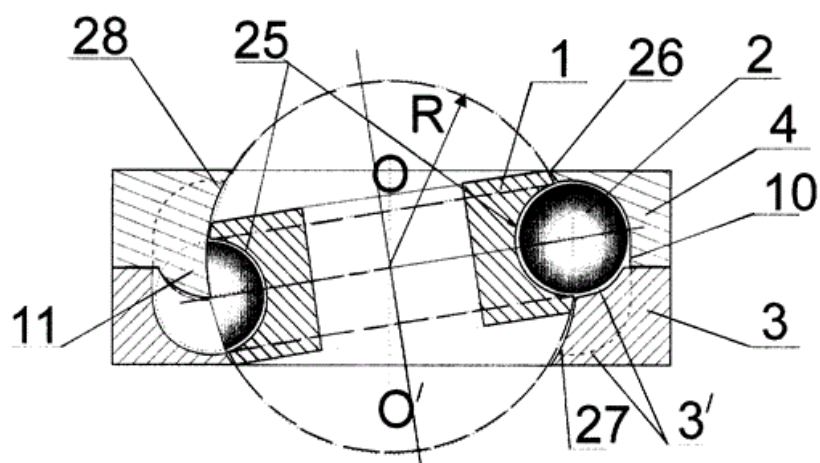
Фиг.10



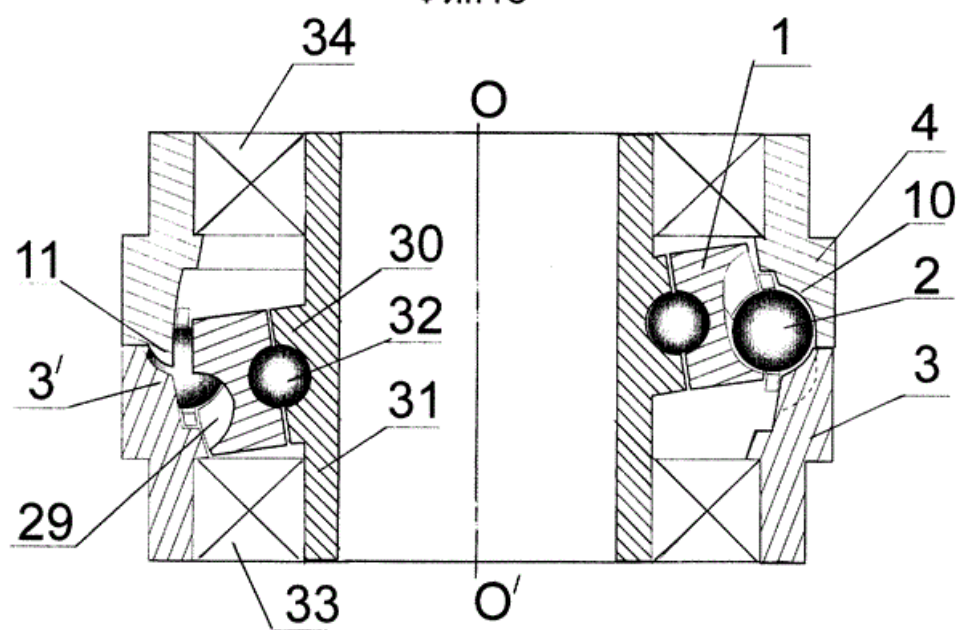
Фиг.11



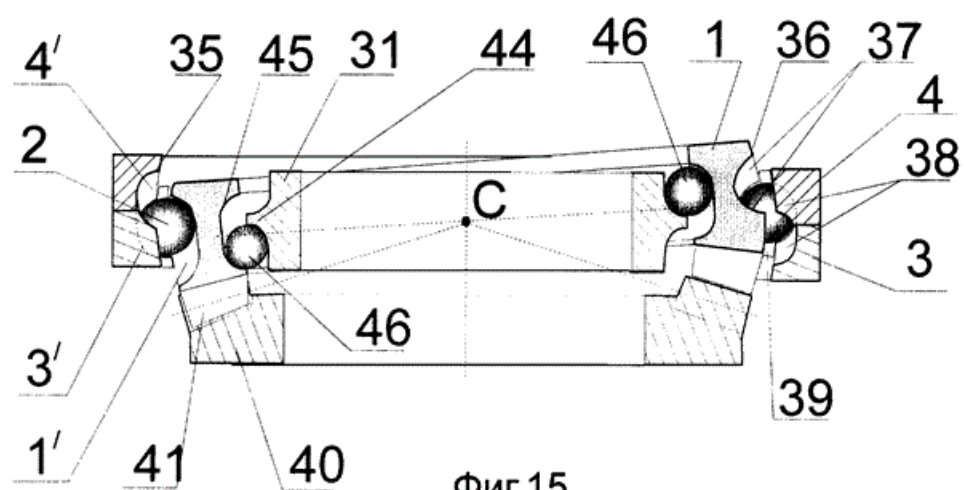
Фиг.12



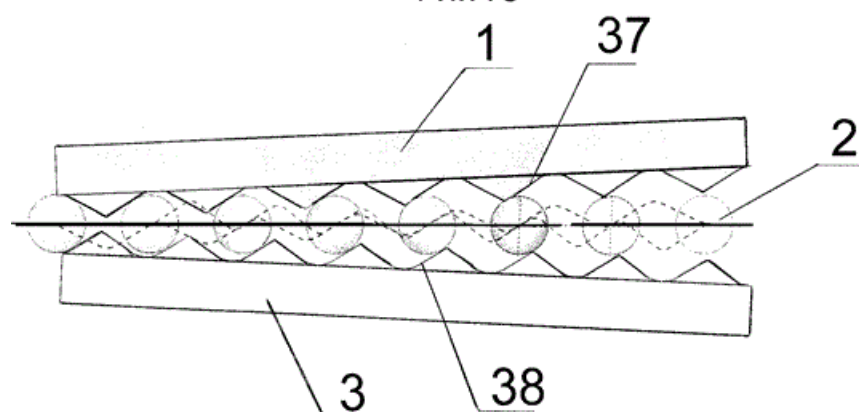
Фиг.13



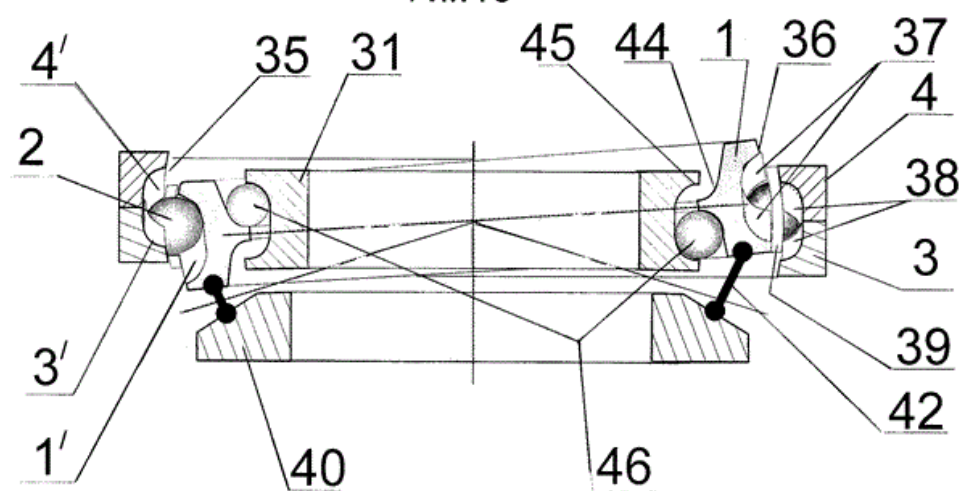
Фиг.14



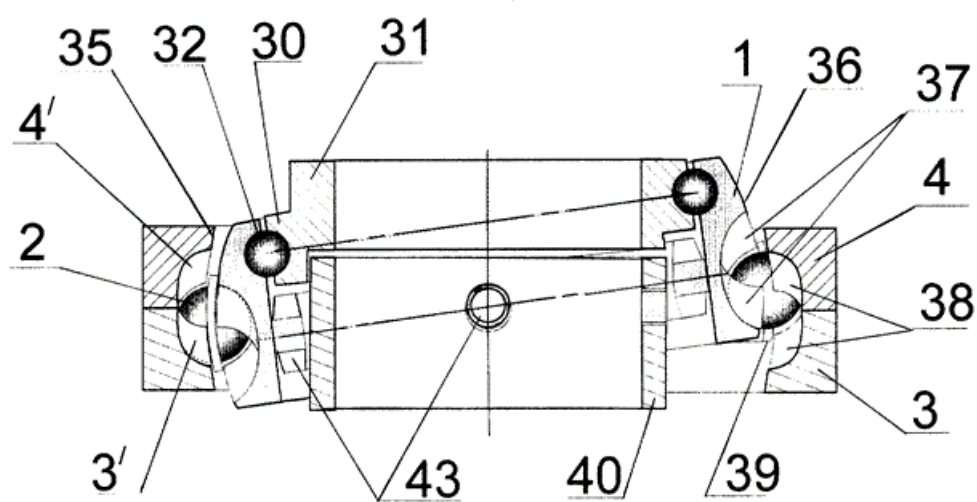
Фиг.15



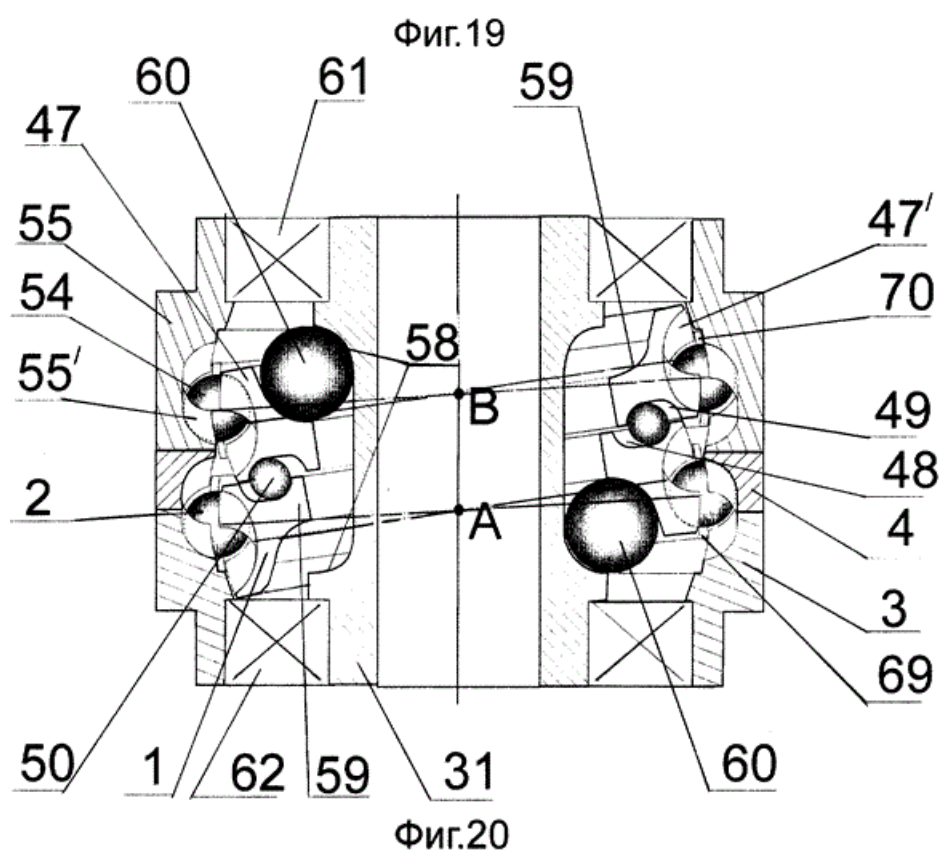
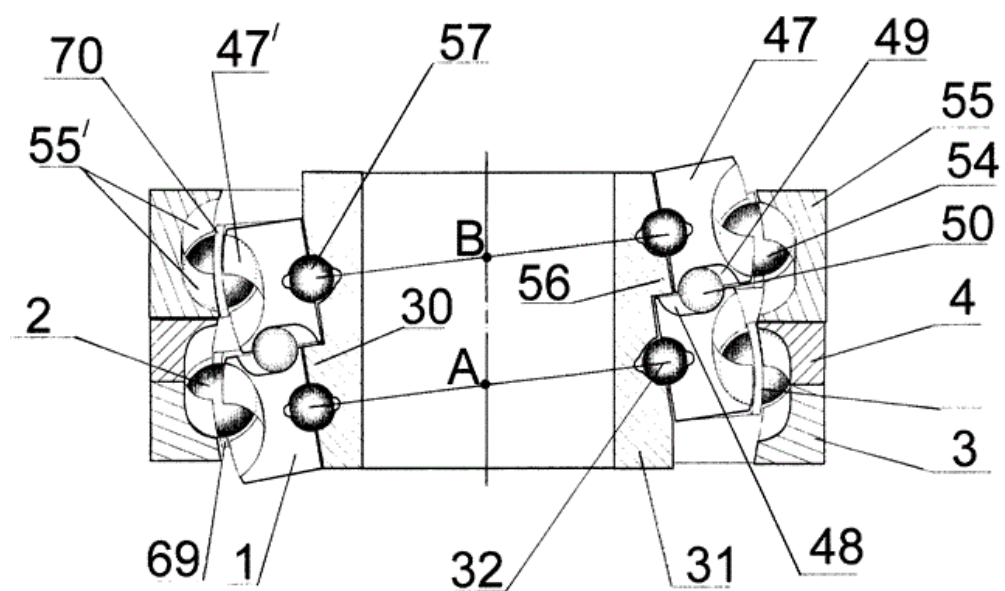
Фиг.16

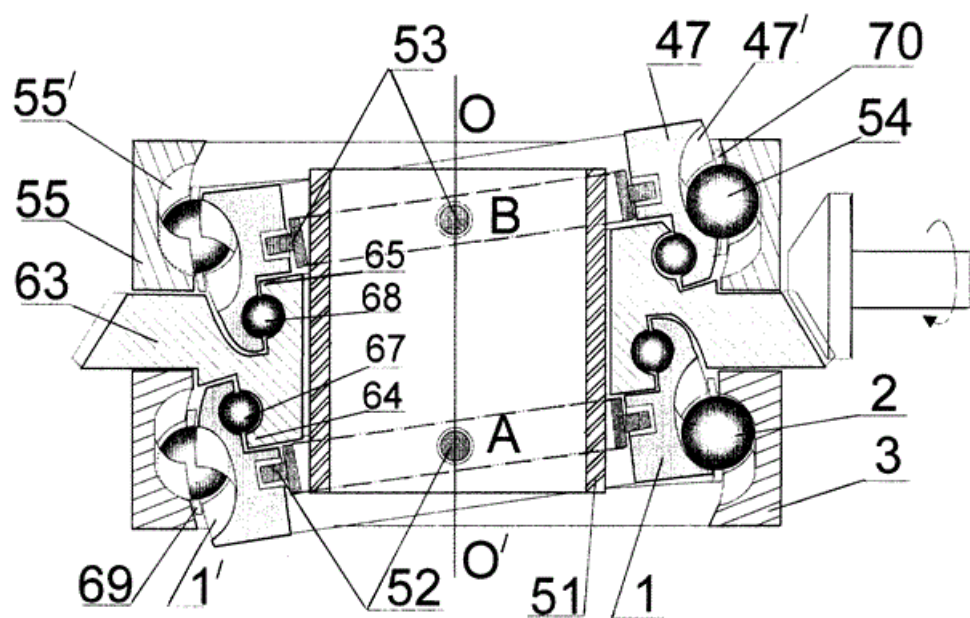


Фиг.17

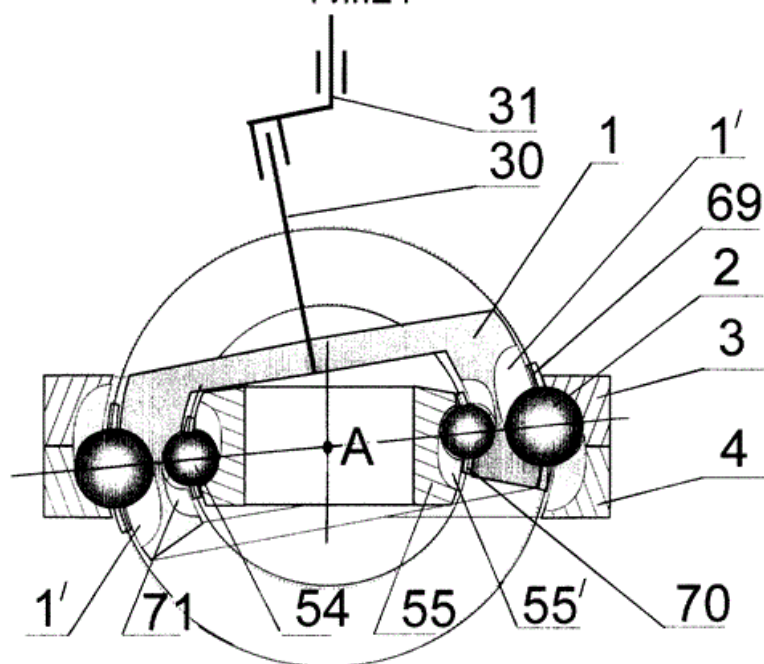


Фиг.18



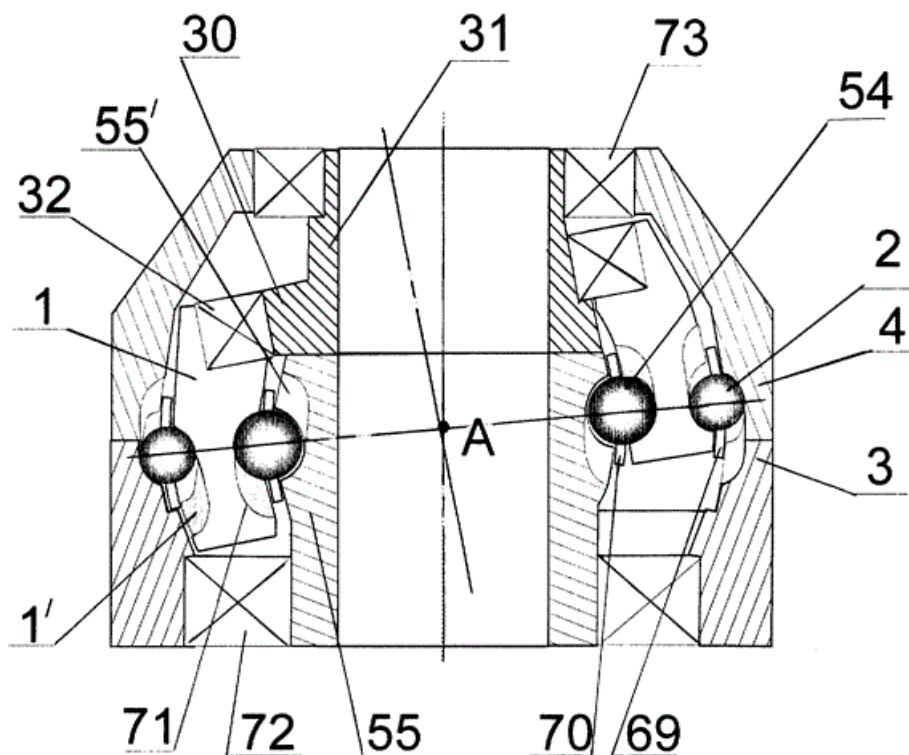


Фиг.21



Фиг.22





Фиг.23

## ИЗВЕЩЕНИЯ

**РС4А - Регистрация договора об уступке патента Российской Федерации на изобретение**

(73) Новый патентообладатель:

**ООО "Томские трансмиссионные системы" (RU)**

Договор № 15613 от 03.12.2002

Извещение опубликовано: 10.02.2003

БИ: 04/2003

**РС4А Государственная регистрация перехода исключительного права без заключения договора**

(73) Патентообладатель(и):

**Закрытое акционерное общество «Томские трансмиссионные системы» (RU)**

Правопреемник: **Закрытое акционерное общество «Томские трансмиссионные системы» (RU)**

Лицо(а), исключительное право которого(ых) переходит без заключения договора:

**Общество с ограниченной ответственностью «Томские трансмиссионные системы» (RU)**

Дата и номер государственной регистрации перехода исключительного права: 20.04.2012 РП0002241

Дата внесения записи в Государственный реестр: 20.04.2012

Дата публикации: [10.06.2012](#)

**РС4А Государственная регистрация договора об отчуждении исключительного права**

Дата и номер государственной регистрации договора: 22.03.2013 РД0121129

(73) Патентообладатель(и):

**Закрытое акционерное общество "Центр точной механообработки" (RU)**

Приобретатель исключительного права: **Закрытое акционерное общество "Центр точной механообработки" (RU)**

Лицо(а), передающее(ие) исключительное право:

**Закрытое акционерное общество "Томские трансмиссионные системы" (RU)**

Дата внесения записи в Государственный реестр: 22.03.2013

Дата публикации: [10.05.2013](#)

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

Дата прекращения действия патента: 31.03.2015

Дата публикации: [20.11.2015](#)