

УДК 621.833

ПРЕЦИЗИОННЫЕ ВИНТОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕДУКТОРАХ ПРИВОДОВ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.С. Янгулов, А.А. Эдличко

Томский политехнический университет

E-mail: edlichkoandrey@yandex.ru

Разработаны схемы механизмов с линейным перемещением выходного звена, адаптированные к высоким требованиям по точности перемещений управляемых исполнительных органов космических аппаратов. Предложены конструкции систем космического аппарата, в которых могут найти применение разработанные механизмы.

Ключевые слова:

Волновая винтовая передача, промежуточные тела качения, шарикоподшипниковый винтовой механизм, редуктор.

Key words:

Wave screw gear, intermediate rolling body, ball-bearing screw mechanism, reducer.

Винтовые механизмы и передачи находят широкое применение в редукторах приводов с линейными перемещениями выходного звена. Они обладают рядом преимуществ, основными из которых являются следующие: высокая нагрузочная способность, долговечность, жёсткость и точность перемещений выходного звена. Это обстоятельство делает перспективным использование винтовых механизмов и передач в прецизионных редукторах приводов систем космических аппаратов и наземного оборудования.

Большая часть известных работ по исследованию данных механизмов и передач посвящена применению их в общепромышленных целях [1, 2]. В этих работах рассмотрены различные варианты по использованию, кинематическим схемам и конструктивному исполнению винтовых механизмов и передач. Одной из задач по повышению точности перемещений выходного звена является уменьшение величины его перемещений за один оборот

входного звена. Конструкции двухвинтовых, дифференциальных, зубчато-винтовых, червячно-винтовых механизмов позволяют решить данную задачу, но они достаточно сложны, т. к. состоят из двух или более передач.

В прошлом веке были изобретены волновые винтовые передачи, которые в числе других своих преимуществ позволяют решить и задачу уменьшения величины перемещений выходного звена за один оборот входного звена. Первые конструкции с гибким элементом, как правило, с гибкой гайкой, не получили большого внедрения из-за целого ряда проблем — технологических, эксплуатационных (ненадёжность) и др.

С целью устранения этих недостатков были предложены конструкции волновых передач [3, 4], представленные на рис. 1 и 2.

Для пояснения волновой винтовой передачи на рис. 1 показаны: конструктивная схема передачи и поперечное сечение А—А.

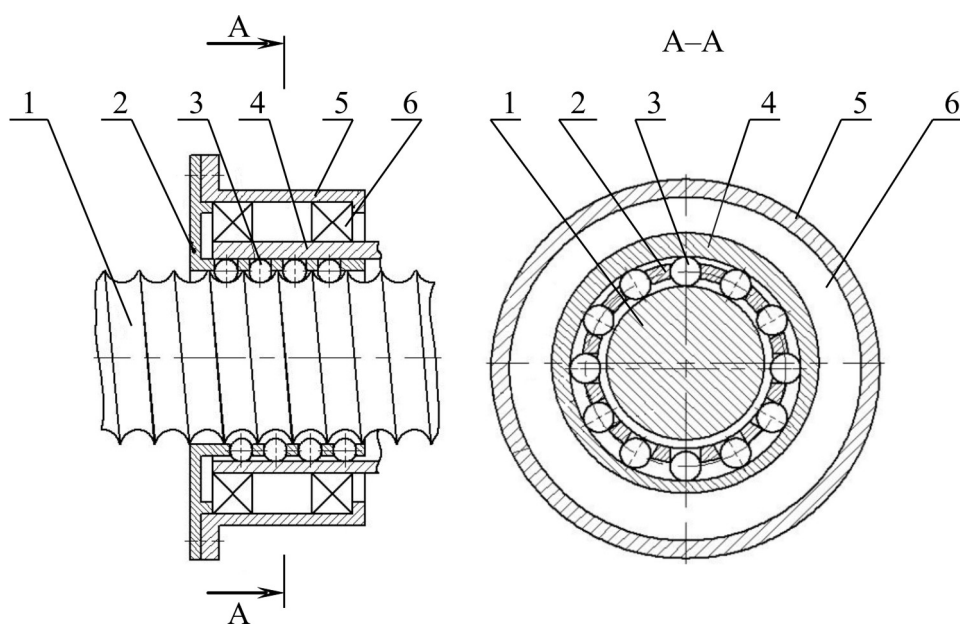


Рис. 1. Волновая винтовая передача

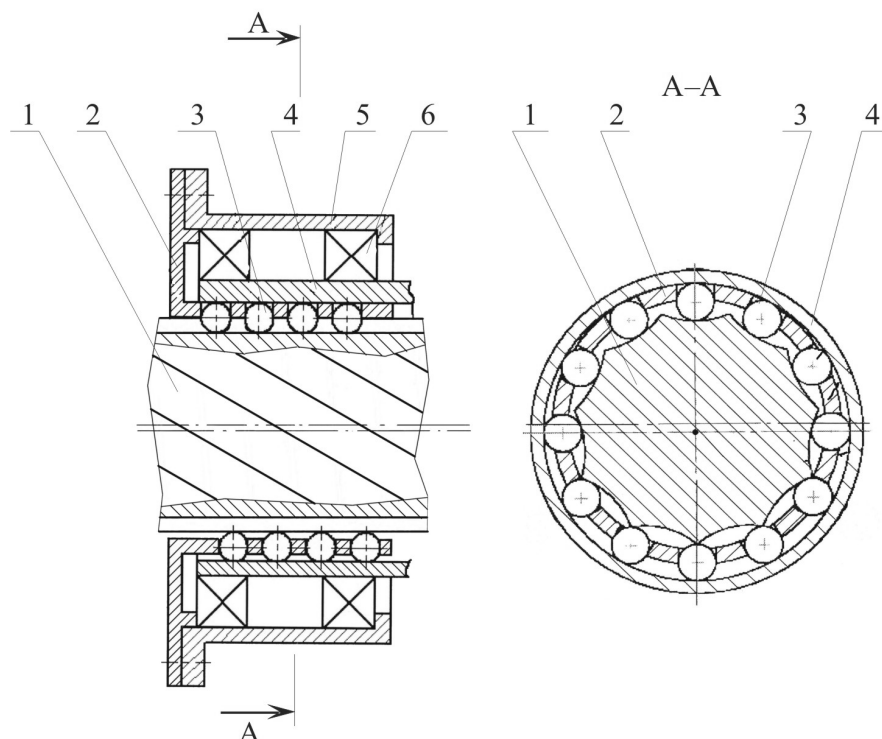


Рис. 2. Волновая винтовая передача с многозаходными винтовыми канавками винта и гайки

Волновая винтовая передача работает следующим образом. При вращении генератора — 4 от привода (не показан) шарики — 3 под его воздействием совершают поступательные перемещения в отверстиях обоймы — 2 к поверхности винтовой канавки винта — 1 до контакта с ней, обеспечивая обкатку гибкой гайки по винту. С учётом разницы средних диаметров винтовых поверхностей винта — 1 и гибкой гайки, состоящей из обоймы — 2 и шариков — 3, корпус — 5 будет перемещаться с редуцированной скоростью при неподвижном винте — 1. При неподвижном корпусе — 5 выходным звеном передачи будет винт — 1.

Передаточное число волновой винтовой передачи с многозаходными винтовыми канавками винта и гайки определяется отношением разности числа заходов винтовых канавок подвижного и неподвижного звеньев передачи к количеству заходов подвижного звена:

$$u = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1},$$

где Z_1 и Z_2 — число заходов винтовых канавок подвижного и неподвижного звеньев передачи, соответственно.

Это приближает волновую винтовую передачу к волновой зубчатой передаче по однозначности значения передаточного отношения и сохраняет преимущества винтовой передачи — повышенное количество шариков, одновременно находящихся в контакте с рабочими поверхностями винтовых канавок винта и гибкой гайки.

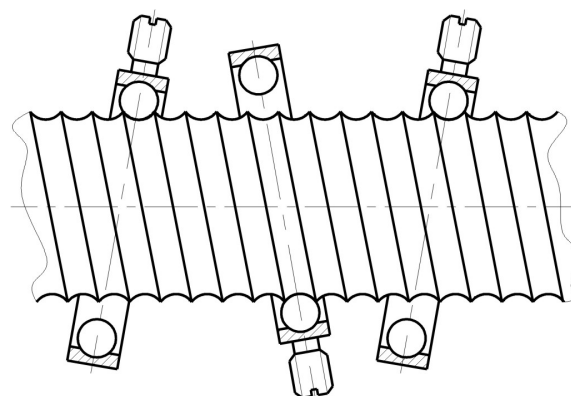


Рис. 3. Шарикоподшипниковый винтовой механизм

В некоторых конструкциях винтовых механизмов повышение точности достигается использованием не только шариков, но и наружных колец подшипников — это шарикоподшипниковые механизмы. На рис. 3 представлен пример шарикоподшипникового механизма [5].

К недостаткам данного механизма можно отнести сложность конструкции установки колец подшипника. С целью устранения данного недостатка была предложена конструкция шарикоподшипникового механизма [6], рис. 4.

Предлагаемый шарикоподшипниковый винтовой механизм позволяет существенно упростить конструкцию за счёт установки наружных колец шарикоподшипников в корпусе перпендикулярно осям винта и корпуса. В этом случае расточка корпуса под подшипники выполняется на токарном станке. Вы-

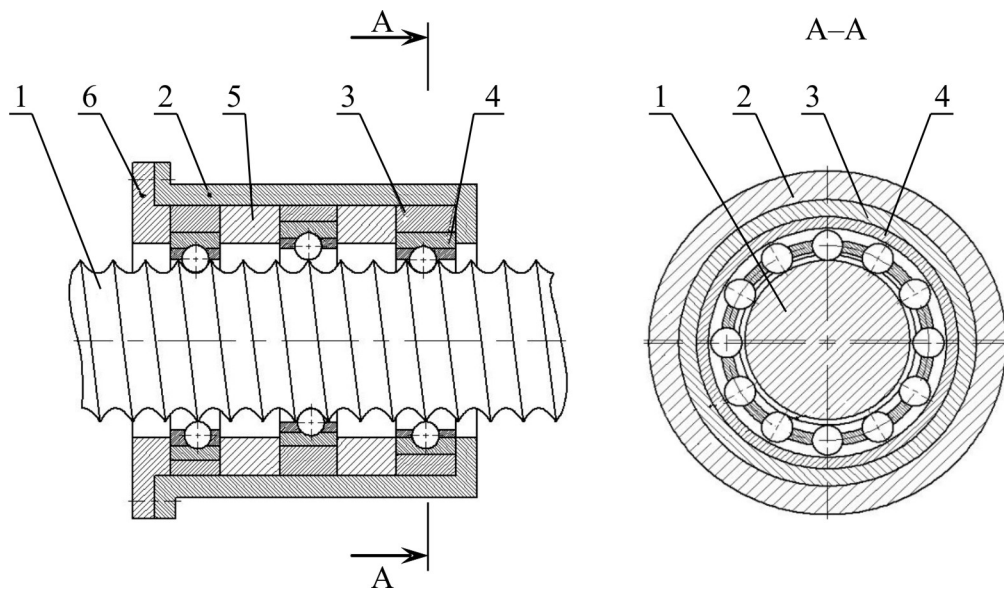


Рис. 4. Шарикоподшипниковый винтовой механизм

полнение эксцентриситета равным 0,25 диаметра шариков подшипников и исполнение профиля винтовой канавки в виде сопряжённой поверхности с шариками, существенно увеличивает дугу контакта, практически до 360° , что повышает нагрузочную способность механизма. В совокупности это повышает надёжность и качество механизма.

Для пояснения шарикоподшипникового механизма на рис. 4 показаны: конструктивная схема механизма и поперечное сечение А–А.

Шарикоподшипниковый винтовой механизм работает следующим образом: при вращении винта – 1 от привода (не показан) шарики подшипника – 4 обкатываются по беговой дорожке наружного кольца и по боковым поверхностям винтовой канавки винта – 1. При выходе на гребень между соседними витками шарики подшипника переходят в следующий виток канавки. Корпус – 2 начинает поступательно перемещаться, если он зафиксирован от вращения, или вращаться, если он зафиксирован от поступательного движения.

Примерами применения винтовых передач и механизмов могут служить предлагаемые схемы систем космического аппарата, в которых эти передачи и механизмы обеспечивают требуемые перемещения, представленные на рис. 5 и 6.

При ограниченных углах поворота гидродвигателя относительно неподвижного основания представляет интерес подвес, выполненный на приводах, выходное звено которых перемещается возвратно-поступательно [7].

Такая схема приведена на рис. 5. Гиростабилизатор содержит неподвижное основание – 6, на котором с помощью шарниров – 5 установлены приводы поворота – 4, по два для каждой из взаимоперпендикулярных осей, обеспечивающие двухкоординатный подвес с опорами гидродвигателя – 1. Выходная ступень редуктора привода поворота пред-

ставляет собой механизм линейного перемещения, например, шариковинтовая, шарикоподшипниковая винтовая, волновая винтовая или аналогичные им передачи, позволяющие регулировать зазоры в зацеплении до нуля. Выходные звенья – 3 механизмов крепятся к гидродвигателю – 1 через шарниры – 2, обеспечивающие две степени свободы.

Для поворота гидродвигателя – 1 относительно основания – 6 по одной из осей, например, оси a , включаются приводы поворота, установленные по оси b , работа которых синхронизирована, а перемещения их выходных звеньев – 3 направлены в противоположных направлениях относительно основания – 6.

Поворот гидродвигателя относительно оси b проводится приводами поворота, установленными по оси a . Шарниры – 2 и 5 обеспечивают вращательное перемещение гидродвигателя – 1 по одной оси при линейном перемещении выходных звеньев – 3 по другой оси. Одновременно, включая приводы поворота по обеим осям, получим угловое перемещение гидродвигателя – 1, относительно основания – 6 в любом заданном положении.

В последние годы в нашей стране и за рубежом ведётся разработка и исследование механизмов с параллельной кинематикой – гексаподов. Замкнутая кинематическая цепь этих механизмов обеспечивает более высокую жесткость всей конструкции и меньшие нагрузки на каждый привод, это, в свою очередь, приводит к повышению точности позиционирования рабочего органа. По большей части доступная информация касается применения гексаподов для металлорежущих станков (крепление шпинделя), что позволяет производить шестикординатную обработку поверхностей.

В числе перспективных направлений по созданию механизмов, обеспечивающих высокоточные управляющие перемещения – разработка гексапод-

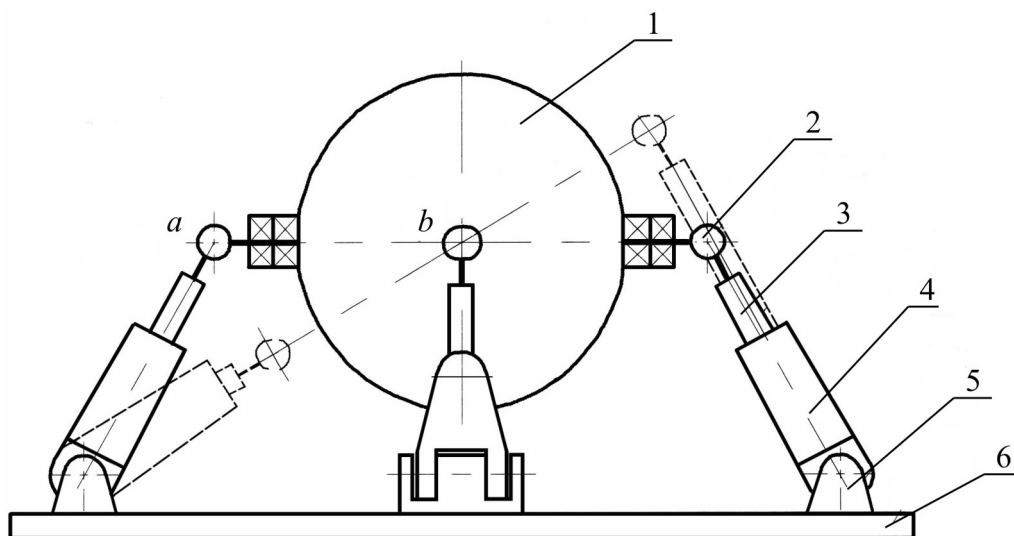


Рис. 5. Гиросtabilизатор с линейными приводами поворота

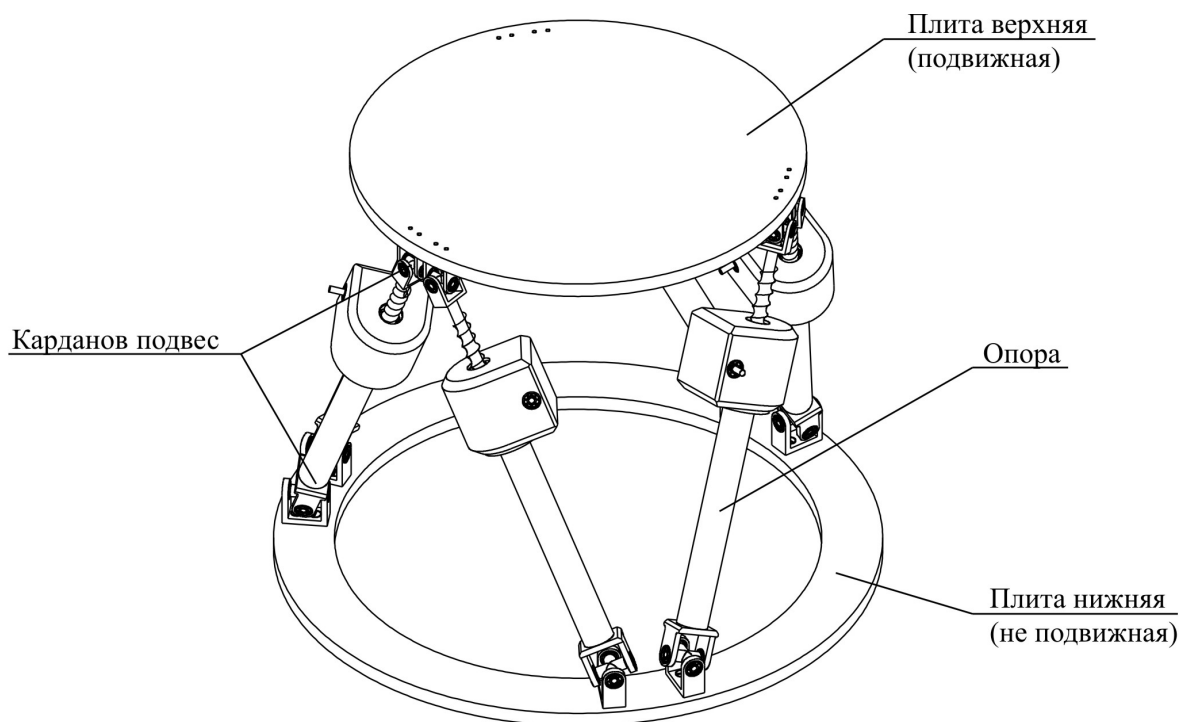


Рис. 6. Общий вид гексапода

да, состоящего из неподвижной и подвижной платформ. Определены технические требования на гексапод, который планируется использовать в новых изделиях ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнёва, г. Железнодорожск.

Основные требования следующие:

1. Перемещения подвижной платформы по трём осям, относительно неподвижной:
 - линейные – ± 100 мм;
 - угловые – $\pm 10^\circ$.
2. Погрешность позиционирования подвижной платформы:

- линейного – $\pm 1,5$ мкм;
- углового – ± 19 угл. сек.

3. Дискретность перемещений:

- линейных – 1,5 мкм;
- угловых – 2 угл. сек.

С учётом этих требований была разработана конструкция гексапода, общий вид которой представлен на рис. 6.

На рис. 7 показаны линейные и угловые перемещения подвижной платформы относительно неподвижного основания, которые соответствуют требованиям ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнёва.

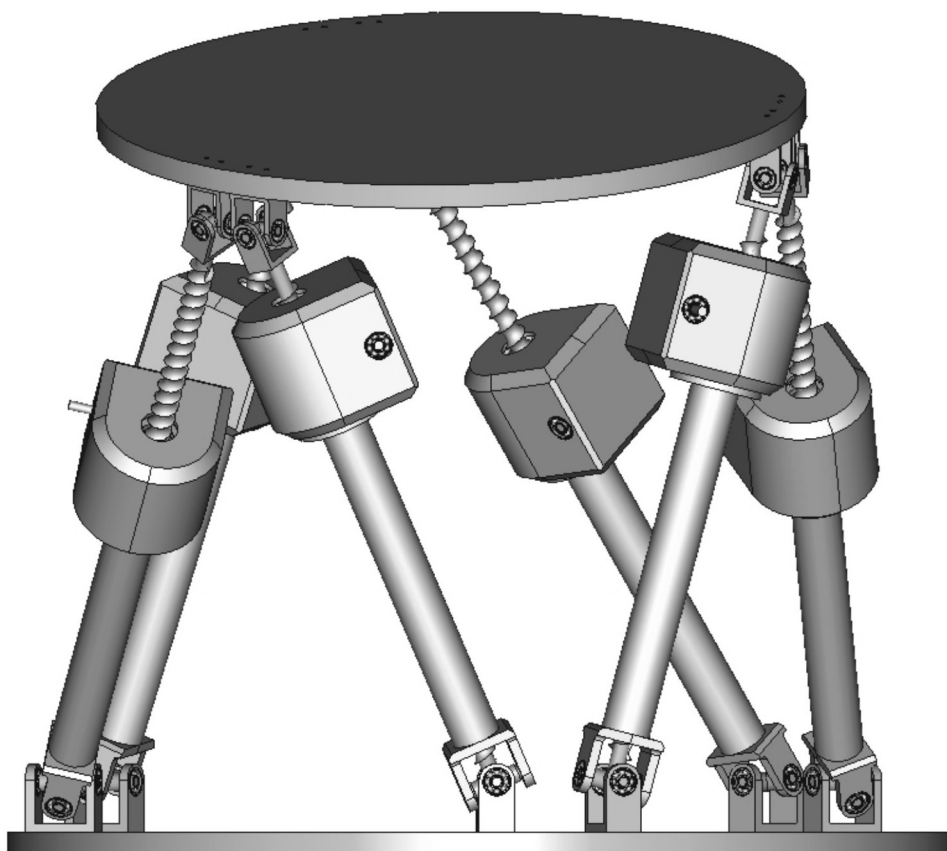


Рис. 7. Одно из крайних положений подвижной платформы, максимальные линейные и угловые перемещения по трём осям

В качестве передач для редуктора опор гексапода использованы: в 1-й ступени – червячная передача с промежуточными телами; во 2-й ступени – шарикоподшипниковый винтовой механизм [6]. Крепление конца винта и корпуса опоры к платформам осуществляется с помощью карданных узлов, обеспечивающих им необходимые угловые перемещения, но фиксирующих их от взаимного проворота.

В состав редуктора опоры гексапода, представленного на рис. 8, входят: червяк – 1, который через промежуточные тела качения зацепляется с червячным колесом – 2, выполненным за одно целое с гайкой – 3 (или закреплённым на ней). В гайке – 3 установлены эксцентричные втулки – 4, например, три штуки с равным угловым шагом. В эксцентричных втулках – 4 крепятся радиальные шарикоподшипники с убранными внутренними кольцами – 5. Гайка – 3 размещена в неподвижном корпусе – 6 на насыпных подшипниках – 7. Корпус – 6 крепится к полной части – 8 опоры, внутри которой расположен винт – 9. Создание упругого натяга в местах контакта шариков с наружными кольцами подшипников и витками винта – 9 осуществляется упругими элементами – 10, размещёнными между втулками – 4.

В качестве промежуточных тел качения в редукторе используются стандартные шарики от под-

шипников качения. Серийно выпускаемые шарики имеют следующие характеристики по точности [8]:

- 1) отклонение от сферической формы – 0,08 мкм;
- 2) шероховатость поверхности Ra – 0,020 мкм;
- 3) разноразмерность шариков по диаметру в партии – 0,13 мкм.

Использование стандартных шариков в качестве промежуточных тел качения, соответствующая обработка сопряженных с шариками рабочих поверхностей и применение компенсирующих износ рабочих поверхностей упругих элементов позволяет прогнозировать, что разрабатываемый гексапод будет удовлетворять проектным требованиям.

Выводы

1. Разработаны схемы механизмов с линейным перемещением выходного звена, адаптированные к высоким требованиям по точности перемещений управляемых исполнительных органов космических аппаратов.
2. Передачи содержат:
 - входное звено – генератор (волновая винтовая передача) или корпус (шарикоподшипниковый винтовой механизм);
 - тела качения – стандартные шарики подшипников качения;

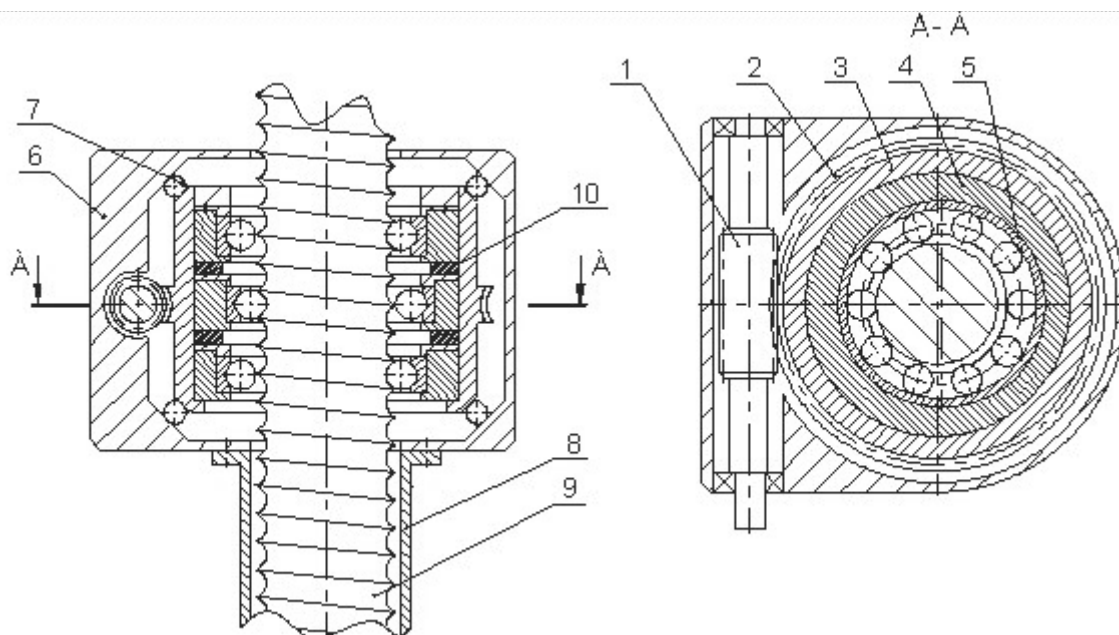


Рис. 8. Редуктор опоры гексапода

- выходное звено — винт с винтовой поверхностью, сопряженной с шариками;
- упругие элементы, создающие упругий натяг в местах контакта звеньев, обеспечивающие устранение зазоров в зацеплении, и компенсирующие их по мере износа рабочих поверхностей при эксплуатации механизма.

- Предложены примеры конструкций приводов систем космических аппаратов, в редукторах которых применены новые передачи с линейным перемещением выходного звена, обеспечивающие требования по точности и долговечности.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Турпаев А.И. Винтовые механизмы и передачи. — М.: Машиностроение, 1982. — 224 с.
- Янгулов В.С. Волновые и винтовые механизмы и передачи. — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 190 с.
- Волновая винтовая передача: пат. на ПМ 69179 Рос. Федерация. № 2007121056; заявл. 04.06.07; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 34. — 5 с.
- Волновая винтовая передача: пат. на ПМ 79961 Рос. Федерация. № 2008129973; заявл. 21.07.2008; опубл. 20.01.2009, Бюл. № 2. — 2 с.
- Шарикоподшипниковый винтовой механизм: а.с. 1357637 СССР; заявл. 31.03.1986; опубл. 07.12.1987, Бюл. № 45 — 4 с.
- Шарикоподшипниковый винтовой механизм: пат. на ПМ 69180 Рос. Федерация. № 2007121057; заявл. 04.06.07; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 34. — 5 с.
- Гиростабилизатор: пат. на ПМ 71424 Рос. Федерация. № 2007118999; заявл. 21.05.07; опубл. 10.03.2008, Бюл. № 7. — 5 с.
- ГОСТ 3722–81. Подшипники качения. Шарикоподшипники качения. Технические условия. — М., 1990. — 25 с.

Поступила 27.04.2010 г.