

Безгаечные роликовинтовые механизмы

10, октябрь 2010

авторы: Блинов Д. С., Алешин В. Ф., Лаптев И. А., Фролов А. В., Кулиш А. В.

УДК 621.833

МГТУ им.Н.Э.Баумана, г.Москва

victorfa@mail.ru, dmitriyblinov@mail.ru

Введение. В высокотехнологичных изделиях среди механизмов, преобразующих вращательное движение в поступательное движение, доминируют винтовые механизмы, которые и будем рассматривать в данной статье. Винтовые механизмы условно можно разделить на две группы: винтовые механизмы, в которых реализуется трение скольжения; винтовые механизмы, в которых с известными допущениями реализуется трение качения. Одной из основных тенденций при проектировании машин, механизмов и узлов является стремление к максимально возможному КПД. Отсюда перспективными являются винтовые механизмы, в которых реализуется трение качения. Данная группа винтовых механизмов в основном состоит из шариковинтовых механизмов (ШВМ) / 1, 2 / и роликовинтовых механизмов (РВМ) / 3 – 5 /.

Из сравнительного анализа ШВМ и РВМ / 5 / следует, что РВМ по большинству основных параметров превосходят ШВМ, а по остальным не уступают последним. Особо следует отметить, что РВМ существенно превосходят ШВМ по быстродействию, надежности и долговечности. Кроме того, количество конструктивных разновидностей ШВМ ограничено, а размеры их основных деталей находятся в довольно узких диапазонах. Отсюда диапазон выбора передаточной функции ШВМ узок. Величина перемещения гайки за один оборот винта зависит, в первую очередь, от диаметра шариков и шага винтовой канавки на винте (гайке) и, составляя обычно 5, 10, 20 мм, не выходит за границы следующего диапазона 2 ... 38 мм. *К достоинствам РВМ следует отнести наличие целого ряда конструкций (подгрупп) этих механизмов, которые позволяют перекрыть диапазон передаточной функции ШВМ. Для конкретного исполнительного механизма, условий его работы и заданных эксплуатационных параметров можно подобрать или сконструировать наиболее рациональную (дешевую) конструкцию РВМ. Следовательно, разработка и исследование новых конструкций (подгрупп) РВМ являются актуальными, так как это расширяет гамму конструкций этих механизмов с различными свойствами.*

1. Достоинства и недостатки традиционных конструкций РВМ. В настоящее время в машиностроении наиболее распространены планетарные роликовинтовые механизмы (ПРВМ) с короткими роликами / 5 /. В одной из конструкций этих механизмов, см. рис. 1, между сопрягаемыми витками резьбовых деталей имеются боковые зазоры, которые необходимы для сборки ПРВМ. Резьбовыми деталями ПРВМ являются многозаходные винт 1 и гайка 4 и n однозаходных роликов 2, которые установлены в сепараторах 3 между винтом и гайкой. Обычно для повышения нагрузочной способности

и точности ПРВМ количество n роликов выбирают из условия соседства максимально возможным / 5 /.

Чтобы гайка относительно винта имела одну степень свободы, ролики дополнительно связывают с гайкой с помощью зубчатых зацеплений, см. рис. 1. Для этого на концах каждого ролика непосредственно по резьбе нарезают наружные зубья, которые зацепляются с внутренними зубьями втулок 5, закрепленных в гайке. Осевое перемещение сепараторов ограничивают с помощью разрезных, пружинных колец 6, а маслоъемники 7 удерживают смазку в гайке. При вращении винта гайка, удерживаемая от вращения, вместе с роликами совершает поступательное движение вдоль оси винта. Ролики, кроме того, совершают планетарное движение: вместе с сепараторами ролики вращаются вокруг оси винта; каждый ролик вращается вокруг собственной оси.

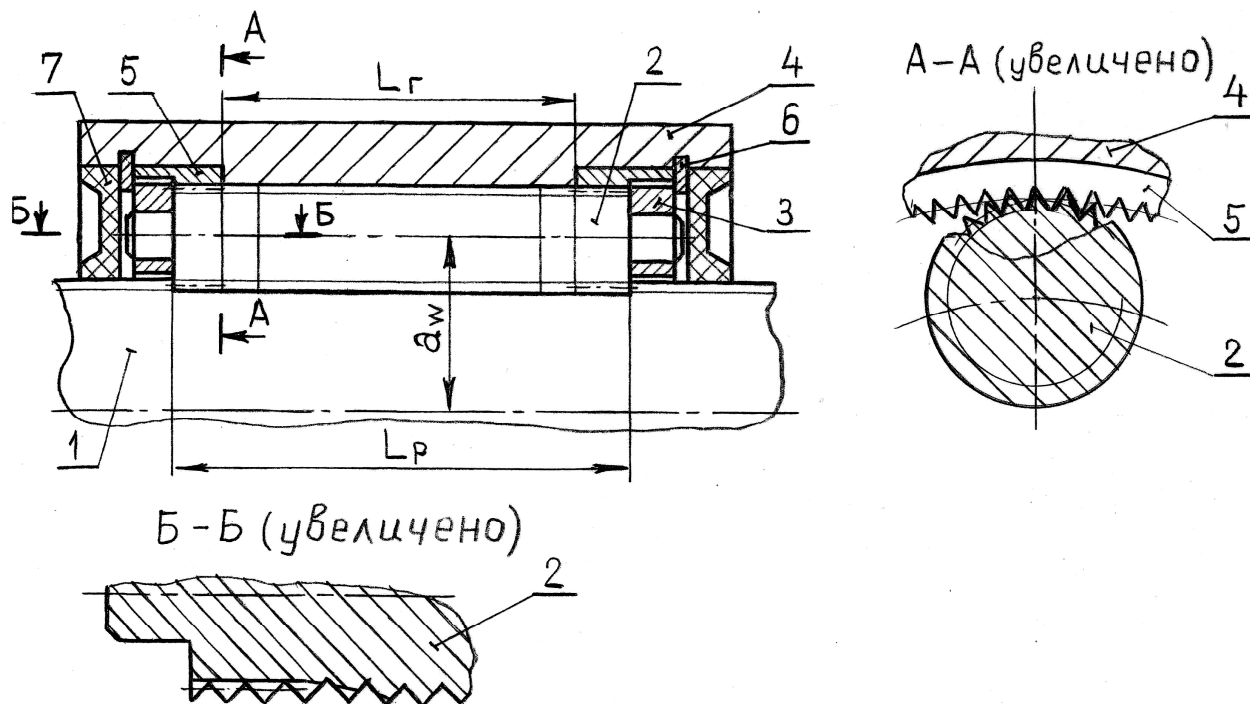


Рис. 1. ПРВМ с короткими роликами, между сопрягаемыми витками резьбовых деталей которого имеются боковые зазоры.

ПРВМ, показанный на рис. 1, обладает высокими нагрузочной способностью, КПД, надежностью и долговечностью. Наличие боковых зазоров между сопрягаемыми витками резьбы его деталей существенно снижает осевую жесткость и кинематическую точность данного механизма.

Для устранения указанных недостатков были разработаны конструкции ПРВМ и их различные исполнения, в которых при сборке компенсируют боковые зазоры между сопрягаемыми витками резьбовых деталей. Механизмы, в которых различными способами компенсируют зазоры между сопрягаемыми деталями, называют беззазорными / 6 /. Беззазорный ПРВМ, см. рис. 2, состоит из многозаходного винта 1, установленных в сепараторах 2, резьбовых однозаходных роликов 3, сборной многозаходной гайки, корпусных деталей 4 и 5, которые сжимают гайку с помощью болтов 6 и гаек 7 с пружинными шайбами 8. Сборная гайка содержит полугайки 9 и установленный между ними компенсатор 10, выполненный в виде двух полуколец (см. вид Г на рис. 2). Такая конструкция компенсатора позволяет извлекать и устанавливать его без разборки гайки. В каждой полугайке закреплена втулка 11 с внутренним зубчатым венцом и маслоъемное кольцо 12. На корпусной детали 4 выполнены базовые элементы – шейки «Д»,

предназначенные для соединения гайки с исполнительным механизмом, который на рисунке не показан. Для взаимной ориентации полу гаек и корпусных деталей, а также для передачи с полу гаек на корпусные детали крутящего момента от сил трения в резьбе применяется шпонка 13.

Беззазорные ПРВМ (см. рис. 2) по сравнению с ПРВМ, в которых между сопрягаемыми витками резьбовых деталей имеются боковые зазоры:

- 1) имеют более сложную конструкцию и сложнее в сборке и наладке;
- 2) обладают большей осевой жесткостью и кинематической точностью;
- 3) имеют примерно в два раза меньшую нагрузочную способность, так как рабочую осевую силу воспринимает одна полу гайка;
- 4) имеют более низкие КПД, надежность и долговечность при одинаковой рабочей нагрузке.

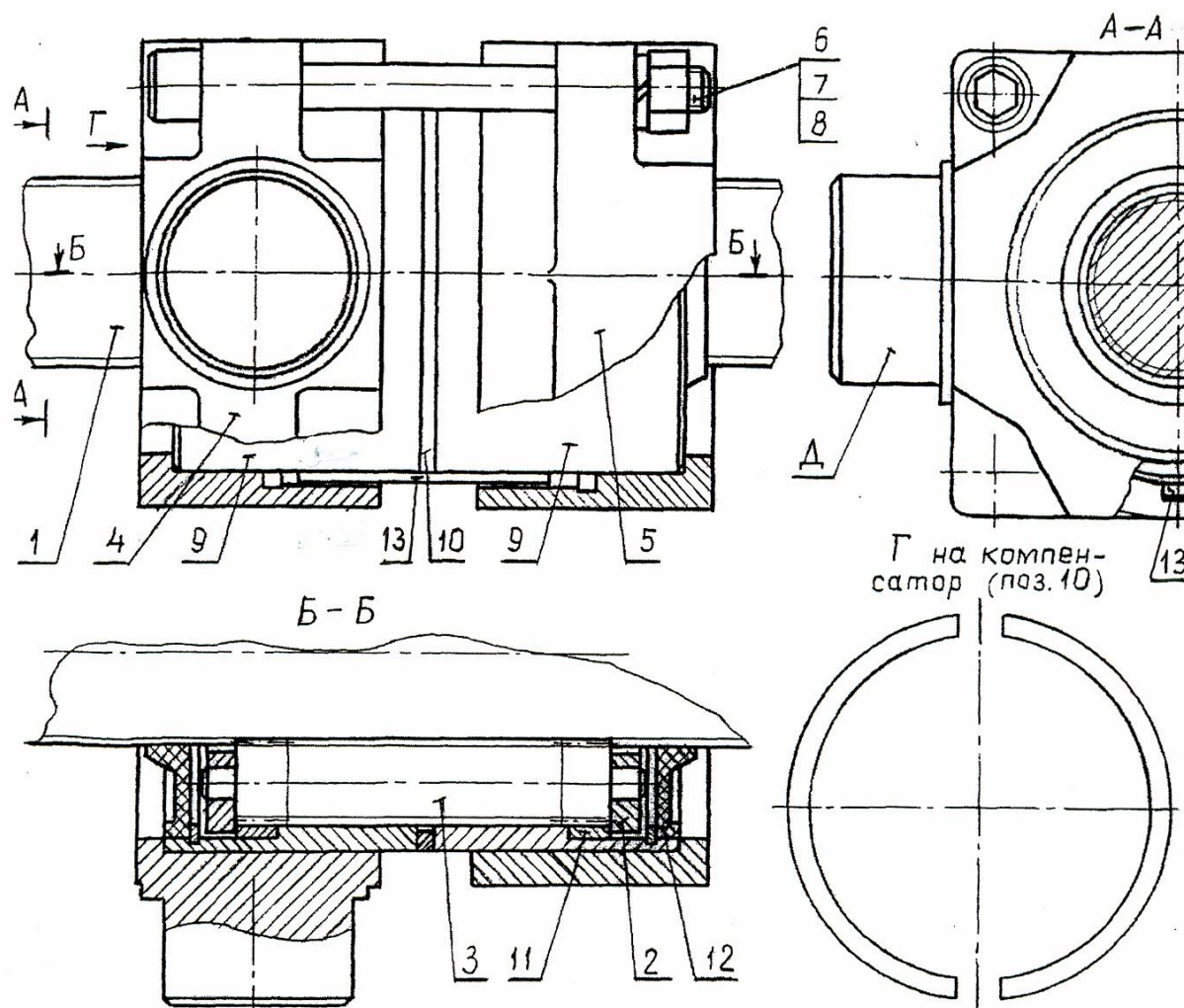


Рис. 2. Беззазорный ПРВМ с короткими роликами.

Теперь отметим общие недостатки, присущие обеим рассмотренным конструкциям ПРВМ.

- 1) Для шлифования наружной резьбы на винте и роликах нужно использовать высокоточные многокоординатные станки с полным управлением от системы ЧПУ. Марка станка зависит от длины винта. Для шлифования внутренней резьбы на гайке, как правило, нужно использовать другие высокоточные станки с ЧПУ, имеющие ограничения по минимальному и максимальному диаметру отверстия, а также по максимальной длине

обработки. Указанные станки являются дорогостоящими и требуют высокой квалификации станочника. Таким образом, для изготовления резьбы на винте и роликах нужны станки для наружного резьбошлифования, а для изготовления резьбы на гайке нужны дополнительные станки для внутреннего резьбошлифования.

2) Обработка и контроль многозаходной резьбы представляют сложные технологическую и метрологическую задачи. *Гайка ПРВМ имеет многозаходную резьбу.*

3) Для резьбошлифования наружной резьбы диаметр инструмента не зависит от диаметра резьбы и может быть относительно большим, а для резьбошлифования внутренней резьбы диаметр инструмента должен быть меньше диаметра отверстия в заготовке гайки. Отсюда диаметр инструмента для шлифования наружной резьбы в разы, а чаще всего в десятки раз больше диаметра инструмента для шлифования внутренней резьбы. Следует отметить, что величина диаметра инструмента влияет на режимы резания и стойкость инструмента. Частота работы конкретной режущей зоны на инструменте пропорциональна диаметру инструмента при одинаковой его скорости вращения. Чтобы иметь одинаковую скорость резания для обработки наружной и внутренней резьбы, инструмент для обработки внутренней резьбы должен вращаться в разы, а чаще всего в десятки раз быстрее. *Следовательно, стойкость инструмента для шлифования внутренней резьбы существенно ниже стойкости инструмента для шлифования наружной резьбы, и инструмент для шлифования внутренней резьбы необходимо значительно чаще править, прерывая процесс резания с возможными потерями в точности.*

4) Инструмент для шлифования внутренней резьбы закрепляется на консоли оправки, что нежелательно с позиции точности обработки из-за малой жесткости. Последняя зависит от длины и диаметра оправки. Длина оправки должна быть больше длины гайки и обеспечивать свободный вход и выход инструмента при обработке. Диаметр оправки должен быть меньше диаметра отверстия в заготовке гайки с учетом ее длины и угла подъема резьбы. *Отсюда обработка резьбы для гаек с малым диаметром представляет собой сложную задачу с позиций точности и выбора режимов резания.*

5) При обработке резьбы на гайке компоновка зажимного устройства станка, заготовки гайки и режущего инструмента является очень плотной, что затрудняет подвод в зону резания СОЖ.

Отсюда следует, что при освоении производства ПРВМ наибольшую сложность представляет обработка резьбы на гайке.

2. Разработанные конструкции безгаечных роликовинтовых механизмов (БРВМ).

Следует отметить, что, согласно разработанной классификации РВМ / 5 /, БРВМ являются подгруппой РВМ, и первые конструкции БРВМ были разработаны и запатентованы более 30-ти лет назад. Однако эти конструкции были неудачными, поэтому вопрос об их внедрении даже не стоял.

Несколько лет тому назад одна Российская организации решила освоить производство ПРВМ и заменить ими ШВМ в электромеханических приводах, которые она производила несколько десятилетий и производит сейчас. Сотрудники МГТУ им.Н.Э.Баумана участвовали в этой работе. Эта организации смогла самостоятельно изготовить все детали ПРВМ, кроме гайки, которую не могла изготовить в течение нескольких лет. В это время и возникла идея заменить в электромеханическом приводе ШВМ на БРВМ, а не на ПРВМ. Были разработаны две принципиально разные конструкции БРВМ и несколько различных исполнений каждой конструкции БРВМ, расширяющих свойства этих конструкций. На разработанные конструкции получены 3 патента РФ / 7 – 9 /. Ниже рассмотрим две основные конструкции разработанных БРВМ.

2.1. Задачи, которые необходимо было решить при разработке БРВМ. Если в роликовинтовом механизме отсутствует резьбовая гайка, то ее функции должны

выполнять уже имеющиеся детали и узлы или детали и узлы, которыми необходимо оснастить механизм. При этом в форму и размеры имеющихся деталей можно внести коррективы. Отсюда надо:

- 1) определить какие функции выполняет гайка в РВМ;
- 2) определить какие детали или узлы (имеющиеся и новые) будут выполнять функции гайки;
- 3) определить какие из имеющихся деталей нужно откорректировать (изменить форму и размеры).

Будем считать, что гайка жестко соединена с корпусом РВМ. При этом на ролик действует нагрузка со стороны гайки и со стороны винта, см. рис. 3.

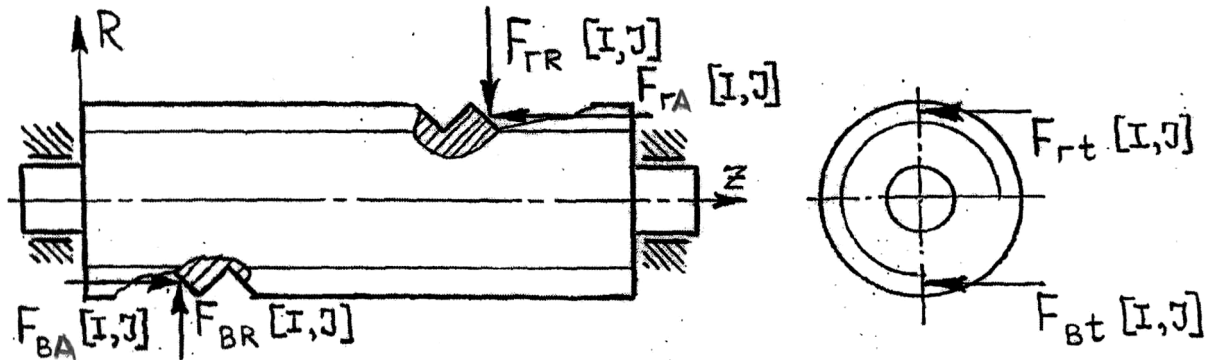


Рис. 3. Ролик РВМ с действующей на него нагрузкой со стороны винта и гайки.

На рис. 3 приняты следующие обозначения:

$I = 1, 2, \dots, n$ – порядковый номер ролика (n – количество роликов);

J – номер витка ролика вдоль образующей, по которой он сопрягается с винтом (гайкой);

F_{GA}, F_{GR}, F_{GI} – осевая, радиальная и окружная составляющая нормальной силы, действующей на J -тый виток I -го ролика со стороны гайки;

F_{BA}, F_{BR}, F_{BI} – осевая, радиальная и окружная составляющая нормальной силы, действующей на J -тый виток I -го ролика со стороны винта;

Анализируя нагружение ролика, определяем функции, выполняемые гайкой:

- 1) передача рабочей осевой силы с роликов на корпус механизма;
- 2) удержание блока роликов в радиальном направлении в контакте с винтом под действием сил $F_{BR}[I, J]$, возникающих в сопряжении витков винта и ролика.

Силы $F_{GA}[I, J]$ и $F_{BA}[I, J]$, см. рис. 3, создают опрокидывающий ролик момент, который приводит к неравномерности нагружения витков ролика вдоль образующей / 5 /. В самом лучшем случае из-за действия опрокидывающего момента коэффициент неравномерности распределения нагрузки вдоль образующих ролика превышает 1,5. Поэтому целесообразно, чтобы суммарная осевая сила, действующая со стороны ролика на корпус, была направлена вдоль оси ролика. В этом случае указанный момент будет в два раза меньше, а, следовательно, будет меньше и неравномерность нагружения витков ролика вдоль образующей. Это будет одним из достоинств БРВМ по сравнению с РВМ. В месте передачи суммарной осевой силы, действующей со стороны ролика на корпус, должно быть трение качения или верчения.

Для удержания блока роликов в радиальном направлении в контакте с винтом, целесообразно на каждом ролике на равных расстояниях от одноименных торцов выполнить П-образные кольцевые пазы. В собранном БРВМ в пазы, желательно без радиальных зазоров, установить жесткие в радиальном направлении кольца.

2.2. Планетарный безгаечный роликовинтовой механизм. БРВМ любой конструкции, см. рис. 4, состоит из винта 1 и узла, совершающего поступательное перемещение с базовыми элементами «Б», которые предназначены для соединения указанного узла с исполнительным механизмом.

Узел, совершающий поступательное перемещение, для планетарного БРВМ, см. рис. 5, состоит из корпуса 2 и двух крышек 3, которые соединены с корпусом винтами 4 с пружинными шайбами 5. По меньшей мере, между одной крышкой 3 и корпусом 2 устанавливается набор регулировочных прокладок или компенсатор 6. Возможны и другие исполнения указанного узла, которые обеспечивают сборку и работу механизма.

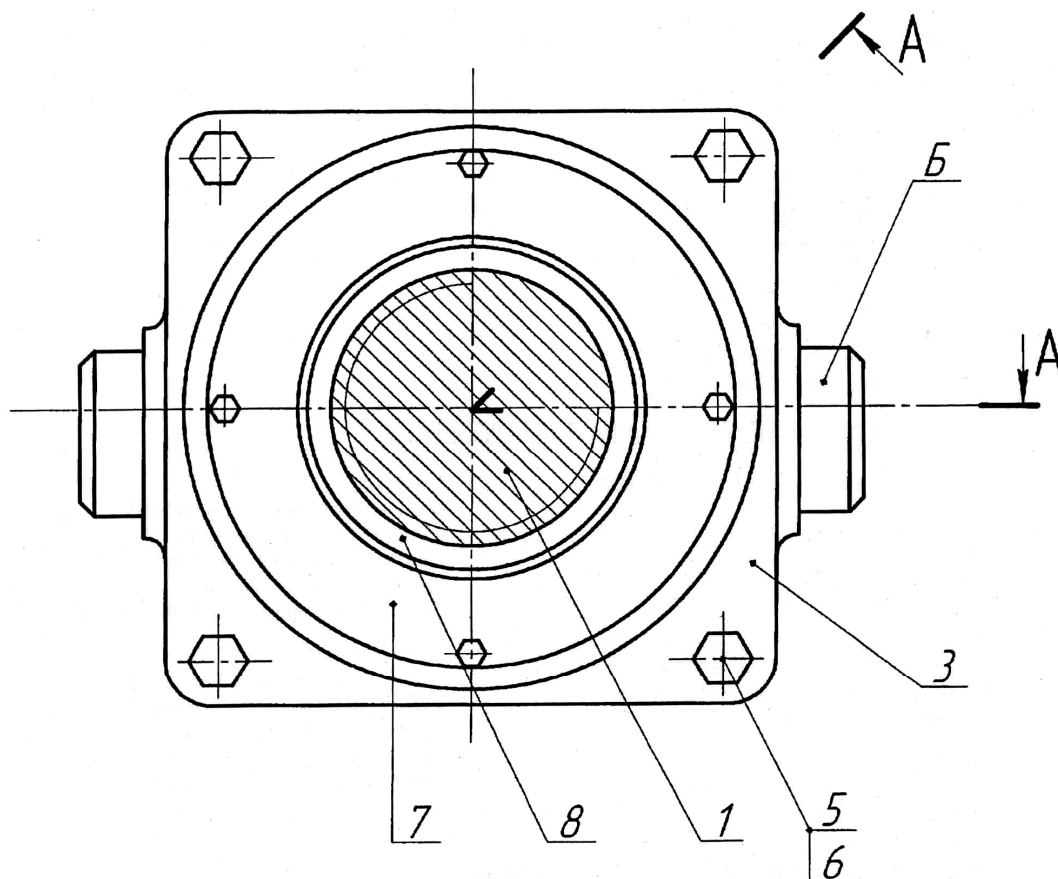


Рис. 4. Безгаечный роликовинтовой механизм (БРВМ).

К наружной торцовой поверхности каждой крышки 3, см. рис. 5, крепится втулка 7 Г-образного сечения, которая удерживает с осевым и радиальным зазорами маслоотражатель 8, а на внутренней торцовой поверхности крышки выполняется кольцевой паз «В», профиль которого является дугой окружности.

Внутри корпуса, см. рис. 5, установлены резьбовые ролики 9, количество которых обычно из условия соседства выбирают наибольшим для повышения нагрузочной способности устройства (минимальное количество резьбовых роликов равно трем). Витки резьбы роликов 9 зацепляются с витками резьбы винта 1. На торцах каждого резьбового ролика 9, см. рис. 5, выполняют сферические поднутрения «Г», центр которых расположен на оси резьбового ролика, и отверстия «Д» под ключ, а на цилиндрической

резьбовой поверхности – кольцевые пазы «Е», количество которых не менее двух. В пазы «Е» резьбовых роликов 9 устанавливают кольца 10 из пружинной стали, которые удерживают ролики от перемещения под действием радиальных сил со стороны винта. При этом ширина L_{Π} паза «Е» больше ширины L_K кольца 10 на 1,5 ... 2 шага резьбы винта (резьбового ролика) для обеспечения сборки механизма.

Между каждой крышкой 3 и резьбовым роликом 9, см. рис. 5, расположен один ряд, установленных в сепараторе 11, шаров 12, число которых равно количеству резьбовых роликов. При этом каждый шар 12 с одной стороны взаимодействует с кольцевым пазом «В» крышки 3, а с противоположной стороны – со сферическим поднутрением «Г» резьбового ролика 9.

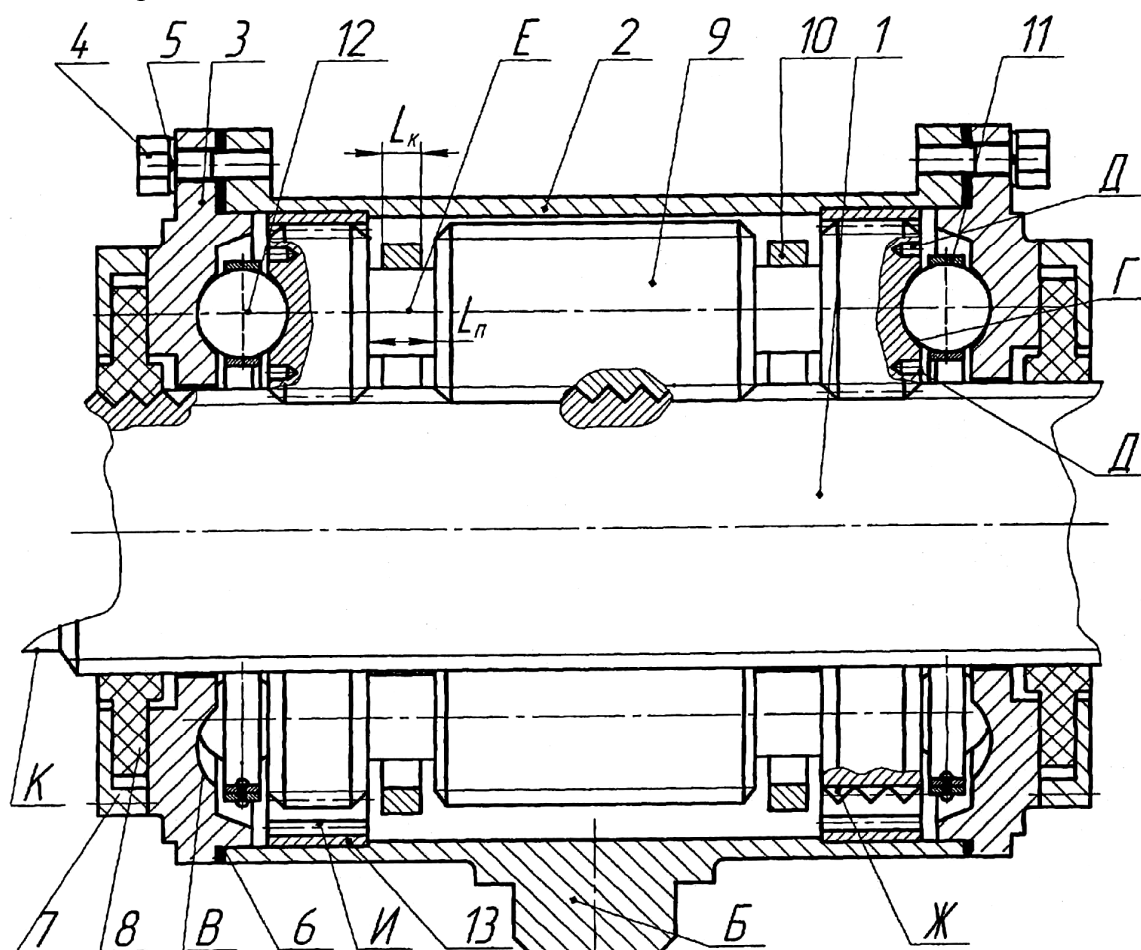


Рис. 5. Разрез планетарного БРВМ осевыми плоскостями А – А (см. рис. 4).

В описанном выше механизме резьбовые ролики имеют две степени свободы: каждый ролик может вращаться вокруг собственной оси; все ролики вместе с сепараторами могут вращаться относительно оси винта. Отсюда такой планетарный БРВМ может иметь непостоянное осевое перемещение корпуса с роликами и шарами при равномерном вращении винта (переменную передаточную функцию). Планетарный БРВМ с переменной передаточной функцией можно использовать, например, в запорных устройствах, домкратах и так далее.

Чтобы планетарный БРВМ имел постоянную передаточную функцию, необходима дополнительная связь между резьбовыми роликами и корпусом, например, зубчатыми зацеплениями. Эта связь снижает количество степеней свободы резьбовых роликов до единицы. В этом случае, см. рис. 5, на концах каждого резьбового ролика 9 выполняют

наружные зубчатые венцы «Ж», а в отверстии корпуса 2 закрепляются втулки 13 с внутренними зубчатыми венцами «И».

Рассмотрим, как общий случай, порядок сборки механизма, в котором резьбовые ролики дополнительно связаны с корпусом зубчатыми зацеплениями. На винте обычно выполняют цилиндрическую поверхность «К», которая упрощает сборку, см. рис. 5. Правую крышку 3 с рядом шаров 12 в сепараторе 11 устанавливают на винт с левого его торца. В пазы «Е» резьбовых роликов 9 устанавливают кольца 10, и этот узел с левого торца винта вводят на его цилиндрическую поверхность «К». С помощью ключа резьбовые ролики попеременно ввинчивают на винт до тех пор, пока их резьба полностью не окажется в зацеплении с резьбой винта. Далее в приспособлении винт устанавливают вертикально, а под крышку 3 подводят базовый элемент приспособления, обеспечивающий перпендикулярность крышки к оси винта. В кольцевой паз «В» крышки устанавливают шары в сепараторе. Затем с помощью ключа резьбовые ролики попеременно ввинчивают на винт до взаимодействия поднутрения «Г» каждого ролика с соответствующим шаром. Так как при ввинчивании резьбовых роликов на винт, они занимают вдоль его оси различные положения необходимо, чтобы ширина $L_{\text{П}}$ паза «Е» резьбовых роликов была больше ширины $L_{\text{К}}$ колец 10 минимум на $1,5 \dots 2$ шага резьбы винта. Чтобы зафиксировать положение резьбовых роликов относительно винта и правой крышки, сверху на ролики устанавливают второй ряд шаров с сепаратором и поджимают собранный узел специальной гайкой, которую наворачивают на винт. Затем сверху на указанный узел устанавливают корпус, в котором закреплена левая втулка 13 с внутренним зубчатым венцом, зубья которого вводят в зацепление с наружными зубьями роликом. Винт с собранным узлом без правой крышки и шаров с сепаратором извлекают из приспособления, и вводят правую втулку 13 с внутренним зубчатым венцом в отверстие корпуса и на зубья роликов, а затем закрепляют эту втулку в корпусе, например, с помощью цилиндрического штифта. С той же стороны к роликам подводят шары с сепаратором и правую крышку, которую соединяют с корпусом резьбовым соединением. Затем, отвернув специальную гайку, винтами 4 с пружинными шайбами 5 соединяют корпус с левой крышкой через компенсатор или набор регулировочных прокладок. Измерив момент холостого хода механизма, определяют надо ли регулировать устройство с помощью компенсатора или набора регулировочных прокладок.

Планетарный БРВМ работает следующим образом. Винт 1, см. рис. 5, вращаясь, приводит в движение резьбовые ролики 9, которые совершают планетарное движение, обкатываясь по зубчатым венцам втулок 13. Резьбовые ролики зафиксированы от осевого смещения относительно корпуса шарами, упирающимися в крышки корпуса. Это и является механизмом преобразования вращательного движения винта в поступательное движение корпуса совместно со всеми деталями, установленными в нем. При этом шары 12 будут катиться по кольцевым пазам «Г» крышек и совершать дополнительное верчение относительно оси роликов под действием сил трения. Кольца 10 будут катиться по пазам резьбовых роликов, воспринимая радиальную нагрузку с винта на ролики. Осевая нагрузка будет передаваться с крышки корпуса через шары на резьбовые ролики вдоль их осей.

Чтобы в планетарном БРВМ с известными допущениями реализовывалось трение качения, необходимы математические связи между основными геометрическими параметрами винта, роликов и зубчатых венцов втулок, смотри аналогичные зависимости для проектирования ПРВМ / 5 /.

2.3. Безгаечный роликовинтовой механизм с неподвижными осями роликов в корпусе. БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе имеет одну степень свободы роликов (они могут только вращаться вокруг собственной оси), поэтому дополнительная связь роликов с корпусом (смотри зубчатые зацепления роликов и втулок корпуса планетарного БРВМ на рис. 5) не нужна.

Будем считать, что на рис. 4 показан БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе, а на рис. 6 – его разрез осевыми плоскостями А – А. При этом над осевой линией винта в плоскость разреза попала осевая плоскость ролика, а под осевой линией винта плоскость разреза прошла между роликами.

БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе, см. рис. 6, состоит из винта 1, n роликов 2, установленных в корпусе 3 с крышками 4, которые с помощью винтов 5 и пружинных шайб 6 закреплены на корпусе. Для угловой ориентации крышек относительно корпуса используются конические или цилиндрические штифты, которые на рисунках 4 и 6 не показаны.

Винт и ролики, см. рис. 6, зацепляются витками своих резьб (имеют сопрягаемые витки резьбы). Между корпусом 3 и крышками 4 установлены компенсаторные кольца 7 или наборы регулировочных прокладок. На внутренней торцевой поверхности каждой крышки выполнены n сферических поднутрений «А» с радиусом R_k . На корпусе 3 выполнены базовые элементы «Б», предназначенные для соединения рассматриваемого БРВМ с исполнительным механизмом. На наружной торцевой поверхности каждой крышки 4 с помощью втулок 8 с осевым и радиальным зазорами закреплен маслоотражатель 9.

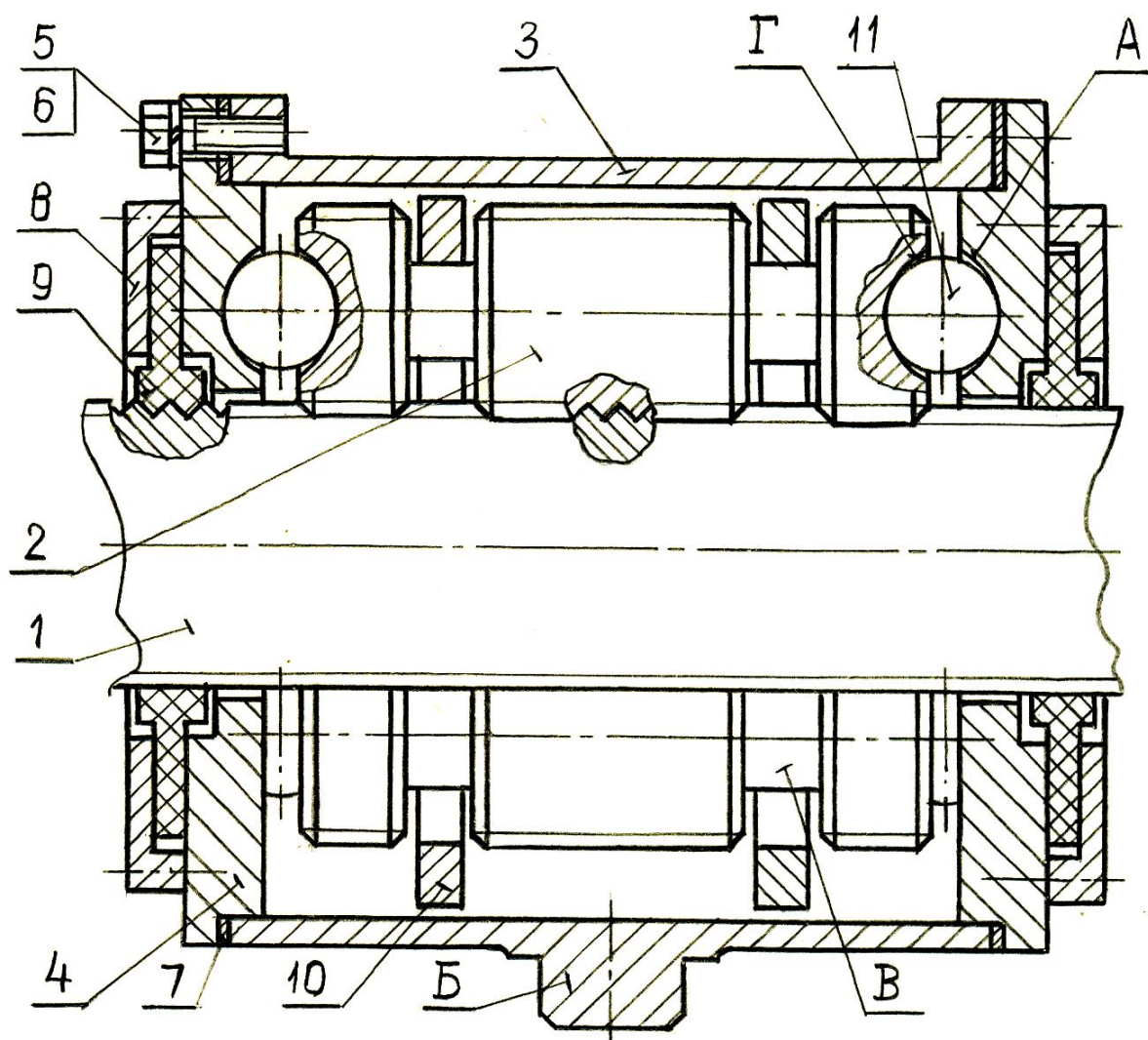


Рис. 6. Разрез БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе осевыми плоскостями А – А (см. рис. 4).

На каждом ролике (см. рис. 6) выполнены два кольцевых паза «В», в которых установлены кольца 10. На торцах каждого ролика выполнены сферические поднутрения «Г» с радиусом $R_p = R_k$. Шары 11, радиусы которых $R_{ш} < R_k$, установлены одновременно в соответствующих сферических поднутрениях «А» крышек и «Г» роликов. Чтобы ось каждого ролика была параллельна оси винта сферические поднутрения «А» на крышках выполнены с высокой точностью углового положения и предусмотрена угловая ориентация крышек относительно корпуса с помощью штифтов.

При работе рассматриваемого БРВМ винт вращается вокруг своей оси, ролики вращаются вокруг своей оси и вместе с корпусом совершают поступательное движение вдоль оси винта. Рабочая осевая сила передается с винта на ролики через сопрягаемые витки резьбы этих деталей, а затем с роликов через контакт сферических поднутрений «Г» на роликах с шарами и шаров со сферическими поднутрениями «А» на одной из крышек – на корпус.

Если проектировать БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе, на который действует малая рабочая осевая сила или эта сила пренебрежимо мала, что переводит этот механизм из силового в кинематический, то можно упростить конструкцию БРВМ. На витки ролика со стороны винта, см. рис. 3, действуют осевые, радиальные и окружные силы. Если суммарная осевая сила, действующая на ролик, мала, то мала и суммарная радиальная сила, действующая на ролик и воспринимаемая кольцами 10, см. рис. 6. В этом случае можно отказаться от колец 10, а ролики изготавливать без кольцевых пазов «В» с непрерывной резьбой от торца до торца. Как отмечалось выше, кольца 10 воспринимают суммарную радиальную силу, действующую на ролик со стороны винта. В предлагаемой упрощенной конструкции суммарная радиальная сила будет передаваться с ролика на крышку 4, см. рис. 6, через контакт сферического поднутрения «Г» на ролике с шаром 11 и шара со сферическим поднутрением «А» в крышке 4.

2.4. Сравнительный анализ разработанных конструкций безгаечных роликвинтовых механизмов. Как наиболее близкие аналоги, имеющие по одной степени свободы роликов, будем сравнивать конструкцию планетарного БРВМ, показанную на рис. 5, и конструкцию БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе, см. рис. 6.

БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе по сравнению с планетарным БРВМ:

1) имеет более простую конструкцию, технологию изготовления деталей, сборку и кинематику. В БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе: нет втулок 13 с зубчатыми венцами, см. рис. 5; эти втулки не надо устанавливать в корпус по переходной посадке и ориентировать относительно корпуса обе втулки; не надо обрабатывать зубчатые венцы на двух концах каждого ролика; отсутствуют сепараторы 11, см. рис. 5; ролики вращаются только вокруг своей оси. Следует отметить, что изготовление сферических поднутрений «А» в крышках 4 БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе, см. рис. 6, сложнее, чем изготовление кольцевого паза «В» в крышке 3 планетарного БРВМ, см. рис. 5, хотя меньше объем снимаемого материала. Однако аналогичные сферические поднутрения надо обрабатывать на торцах роликов в обеих сравниваемых БРВМ, поэтому эту технологическую операцию можно считать типовой при изготовлении деталей БРВМ. А обработка указанной кольцевой канавки «В» для крышки планетарного БРВМ является дополнительной в технологическом процессе изготовления деталей этого механизма по сравнению с технологическим процессом изготовления деталей БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе.

2) может допускать по контактной прочности большую рабочую осевую силу. Расчетным путем установлено, что допускаемую рабочую осевую силу ограничивает контактная прочность сопряжения шар – конструктивный элемент в крышке корпуса. Конструктивным элементом крышки корпуса для планетарного БРВМ является кольцевой

паз «В», а для БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе – сферическое поднутрение «А», см. рис. 5 и 6. Контактные напряжения в указанных сопряжениях обратно пропорциональны площади площадки контакта при действии равной нагрузки. Без расчетов ясно, что при равной нагрузке и равных совпадающих размерах площадь контакта сопряжения шар – сферическое поднутрение больше площади контакта сопряжения шар – кольцевой паз радиусного профиля. Чтобы повысить контактную прочность указанных сопряжений, надо увеличивать радиус шара и соответствующие размеры указанных конструктивных элементов в крышке. Здесь большим резервом увеличения контактной прочности обладает конструкция БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе, так как максимально возможный радиус шара равен примерно радиусу впадин резьбы ролика, см. рис. 6, а в планетарном БРВМ надо учитывать еще и сепаратор, см. рис. 5.

3) Для обеспечения условий для трения качения в планетарном БРВМ необходима однозначная математическая связь между основными геометрическими параметрами винта, роликов и втулок с зубчатыми венцами. Отсюда передаточная функция этого механизма может иметь ряд дискретных значений, что, в ряде случаев, осложняет проектирование БРВМ. В БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе этот недостаток отсутствует.

Открытыми до проведения испытаний остаются вопросы, связанные с надежностью и долговечностью сравниваемых конструкций БРВМ.

2.5. Разработка и испытания опытных образцов безгаечных роликовинтовых механизмов. Были спроектированы и изготовлены в условиях единичного производства опытные образцы двух конструкций БРВМ. Одна конструкция, фотография которой представлена на рис. 7, является БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе.



Рис. 7. Опытный образец БРВМ с неподвижными осями роликов в

Опытный образец БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе (рис. 7) состоит из пятизаходного винта со средним диаметром резьбы 48 мм и шагом резьбы 1,6 мм (резьба левая), 4 резьбовых однозаходных роликов, имеющих на цилиндрической поверхности кольцевой паз, в котором установлено кольцо, воспринимающее радиальную нагрузку на ролики со стороны винта. Две крышки стянуты между собой при помощи шпилек и дополнительных гаек, предназначенных для регулировки осевого люфта в механизме. В каждой крышке закреплены четыре специальные втулки со сферическими поднутрениями. В каждом поднутрении каждой крышки установлен шар, который с противоположной стороны установлен в сферическом поднутрении, выполненном на торце ролика.

Были проведены экспериментальные исследования кинематических характеристик БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе, см. рис. 8. При этом определялись углы поворота ролика и кольца и величина подачи механизма за оборот винта – передаточная функция БРВМ.



Рис. 8. Кинематические испытания опытного образца

Экспериментальные исследования, во-первых, доказали работоспособность опытного образца. Во-вторых, различие между экспериментальными данными и данными, выполненными теоретических исследований, не превысили 3%. Это является достаточно хорошим результатом с учетом того, что точность изготовления и сборки опытного образца являются невысокими. Кроме того, конструкция опытного образца является упрощенной, например, радиальное перемещение роликов ограничивают не два кольца, а одно и т.д.

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. В результате выполненных исследований разработан новый подкласс перспективных планетарных роликовинтовых механизмов (ПРВМ) – безгаечных роликовинтовых механизмов (БРВМ), который имеет ряд отличительных свойств и расширяет гамму конструкций ПРВМ

2. При изготовлении БРВМ не надо изготавливать гайку с многозаходной, высокоточной резьбой. В связи с этим существенно упрощается технология изготовления

этих механизмов, и снижается их стоимость. Кроме того, создается предпосылка для освоения производства БРВМ, являющихся одним из подклассов ПРВМ, предприятиями РФ. Это может стать первым шагом в самостоятельном освоении производства ПРВМ отечественными заводами.

3. Конструкция БРВМ не имеет гайки, и, в ряде случаев, БРВМ может не иметь собственного корпуса, а встраиваться в другие устройства. Следовательно, эти механизмы по сравнению с ПРВМ имеют меньшие радиальные габариты, что также является достоинством БРВМ по сравнению с ПРВМ.

4. Хотя БРВМ по ряду параметров уступают ПРВМ, но превосходят по другим параметрам, поэтому БРВМ, безусловно, смогут рационально использоваться во многих областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов Б.И. Шарико-винтовые механизмы в приборостроении. Ленинград-Москва, Машиностроение, 1968. – 134 с.
2. Турпаев А.И. Винтовые механизмы и передачи. – М.: Машиностроение, 1982. – 223 с.
3. Бушенин Д.В. Несоосные винтовые механизмы. – М.: Машиностроение, 1985. – 112 с.
4. Перспективные конструкции передачи винт-гайка / О.А.Ряховский, Д.С.Блинов, В.И.Фетисов и др. // Привод и управление. – 2000. – № 3. – С. 7-9.
5. Блинов Д.С. Планетарные роликовинтовые механизмы. Конструкции, методы расчетов / Под ред. О.А.Ряховского. – М.: МГТУ, 2006. – 222 с.
6. Крайнев А.Ф. Детали машин: Словарь-справочник. М.: Машиностроение, 1992. – 480 с.
7. Д.С.Блинов, О.А.Ряховский, П.А.Соколов, И.А.Лаптев, С.Н.Вишневский Патент РФ «Устройство для преобразования вращательного движения в поступательное» № 2272199, Б.И.– 2006. – № 8, – 10 с.
8. Д.С.Блинов, О.А.Ряховский, П.А.Соколов, И.А.Лаптев, С.Н.Вишневский Патент РФ «Устройство для преобразования вращательного движения в поступательное» № 2310785, Б.И. – 2007. – № 32, – 8 с.
9. Д.С.Блинов, Г.П.Кондрашова, О.А.Ряховский, П.А.Соколов, И.А.Лаптев Патент РФ «Устройство для преобразования вращательного движения в поступательное (варианты)» № 2374527, Б.И. – 2009. – № 33, – 11 с.