

**БЛИНОВ**

**Дмитрий Сергеевич**  
доктор технических наук,  
профессор  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

**BLINOV**

**Dmitry Sergeevich**  
Dr. Sc. (Eng.), Professor  
(Moscow, Russian Federation,  
MSTU named  
after N.E. Bauman)

**МОРОЗОВ**

**Михаил Игоревич**  
начальник отдела  
перспективных технологий  
(ФГУП «НИИСУ»)

**MOROZOV**

**Mikhail Igorevich**  
Head of Department  
of Perspective Technology  
(Moscow, Russian Federation,  
Federal State Unitary Enterprise  
«NIISU»)

## Перспективные конструкции планетарных роликовинтовых механизмов

**Д.С. Блинов, М.И. Морозов**

*В настоящее время во многих отраслях промышленности широко применяются электромеханические приводы на базе планетарных роликовинтовых механизмов (ПРВМ). Чтобы ПРВМ соответствовали современному уровню техники необходимо модернизировать известные конструкции этих механизмов и разрабатывать принципиально новые конструкции, которые обладали бы новыми свойствами. Рассмотрен новый безгаечный роликовинтовой механизм, являющийся модификацией многообразных конструкций ПРВМ и обладающий рядом преимуществ по сравнению с ними.*

**Ключевые слова:** винт, ролик, гайка, резьба, виток.

## Advanced Structural Designs of Planetary Roller Screws Gears

**D.S. Blinov, M.I. Morozov**

*At present, many industry sectors widely use electromechanical drives based on Planetary Roller Screws Gear (PRSC). The article presents a new Nutless Roller Screws Gear (NRSC), which is a modification of one of various structural designs of PRSC, but having some advantages.*

**Keywords:** screw, roller, screw nut, threading, turn.

**В** настоящее время к силовым приводам машин предъявляются требования по повышению нагрузочной способности, надежности, долговечности, КПД, точности, стойкости к ударным нагрузкам и ряда других параметров. Повышаются необходимые скорости и ускорения выходного звена приводов. Привода должны легко устанавливаться на изделие, заменяться и настраиваться, их обслуживание должно быть простым, а управление — надежным и легко программируемым. Для большинства изделий и в первую очередь аэрокосмической отрасли необходимо снижать массу приводов и обслуживающего их оборудования. Постоянно ужесточаются требования к приводам по воздействию на окружающую среду.

Перечисленные требования привели к тому, что в машиностроении повысилась роль электромеханических приводов и потребность в них. В ряде изделий пневматические и гидравлические привода стали заменять электромеханическими, которые должны превосходить заменяемые привода по основным эксплуатационным параметрам, а по второстепенным параметрам или превосходить, или не уступать гидрав-

лическим приводам и пневмоприводам. Общим для всех этих приводов является то, что выходное звено исполнительного механизма совершает поступательное движение.

В технике стали реализовывать концепции электрического автомобиля и электрического самолета, согласно которым в этих изделиях используется только электрическая энергия, а, следовательно, их оснащают только электромеханическими приводами.

Если сравнить состав пневматических, гидравлических и электромеханических приводов, то оказывается, что электромеханические приводы проще гидроприводов и пневмоприводов, характеризуются меньшей массой, занимают меньшие площадь и объем, более надежны, так как имеют меньше составных элементов.

Важнейший элемент электромеханического привода — исполнительный механизм. Предлагаемая статья посвящена исполнительным механизмам, преобразующим вращательное движение от двигателя в поступательное движение выходного звена. Такие механизмы нашли широкое применение. В современных электромеханических приводах целесообразно использовать винтовые механизмы качения, которые имеют высокие эксплуатационные параметры, в том числе высокий КПД, поэтому их применение позволяет существенно снизить массу привода, что особенно важно для летательных аппаратов. К винтовым механизмам качения относятся шариковинтовые механизмы (ШВМ) и роликовинтовые механизмы (РВМ).

Сравнение по основным параметрам исполнительных механизмов различных приводов, выполненное фирмой Exlar Corporation [1], приведено в таблице.

Представленные данные позволяют сделать вывод о том, что РВМ, являющиеся исполнительными механизмами электромеханических приводов, почти по всем параметрам превосходят исполнительные механизмы пневматических и гидравлических приводов. Следовательно, электромеханические привода целесообразно оснащать перспективными кон-

струкциями РВМ, что и делают уже на протяжении нескольких десятилетий передовые зарубежные фирмы.

**Сравнительные характеристики исполнительных механизмов пневматических, гидравлических и электромеханических приводов**

Параметр	Исполнительный механизм привода			
	Пневматический цилиндр	Гидравлический цилиндр	ШВМ	РВМ
<b>Нагрузочная способность</b>	Высокая	Очень высокая	Высокая	Очень высокая
<b>Скорость</b>	Очень высокая	Высокая	Средняя	Очень высокая
<b>Ускорение</b>	Очень высокое	Очень высокое	Среднее	Очень высокое
<b>Жесткость</b>	Очень низкая	Высокая	Средняя	Очень высокая
<b>Стойкость к ударным нагрузкам</b>	Высокая	Очень высокая	Средняя	Очень высокая
<b>КПД</b>	< 50 %	< 50 %	> 90 %	> 80 %
<b>Обслуживание</b>	Сложное	Очень сложное	Простое	Простое
<b>Установка и настройка</b>	Очень сложные	Сложные	Очень простые	Очень простые
<b>Управление позиционированием</b>	Очень сложное	Сложное	Очень простое	Очень простое
<b>Точность позиционирования</b>	Низкая	Средняя	Очень высокая	Очень высокая
<b>Воздействие на окружающую среду</b>	Высокий уровень шума	Частые утечки	Незначительное	Незначительное
<b>Ресурс</b>	Может быть большим при надлежащем обслуживании	Может быть большим при надлежащем обслуживании	Средний	Очень большой

В 1950 г. был получен первый патент на РВМ. Около 10 лет в США, Франции, Швейцарии, ФРГ и других западных странах проводились исследования этих механизмов, а также разрабатывались опытные образцы, которые испытывались и модернизировались. В результате этих исследований были разработаны многие разновидности РВМ и получены патенты

на них. И только в начале 1960-х годов на ряде западных фирм освоили изготовление РВМ. При этом из большого количества разновидностей РВМ серийно изготавливают немногие конструкции.

В нашей стране первые исследования РВМ были опубликованы в конце 1960-х годов Б.И. Павловым [2] и Л.В. Марголиным [3]. Исследованиями этих передач занимались в МВТУ им. Н.Э. Баумана, Владимирском политехническом институте, ЭНИМСе и в других организациях. Понимая перспективность РВМ, в СССР на государственном уровне было принято решение о строительстве в г. Владимире научно-исследовательского центра по изучению и освоению производства РВМ. Однако по известным причинам этот центр не был построен.

В РФ большинство серийно изготавливаемых электромеханических приводов оснащают ШВМ, производство которых было освоено еще в СССР в первой половине прошлого века. Кроме ШВМ в корпус электромеханического привода встроен двигатель, элементы управления последним, приборы обратной связи, возможно механическая передача и другие вспомогательные устройства. Для работы электромеханического привода необходима система управления. Для авиационной техники электромеханические приводы изготавливает ОАО «Лепсе» (г. Киров), ОАО «Электропривод» (г. Киров) и др.

Производство РВМ было освоено в России на «Производстве технологического оборудования» (ПТО) АО «АвтоВАЗ» в 1988 г. по лицензии швейцарской фирмы Precision Drive Systems SA [4]. На ПТО АО «АвтоВАЗ» серийно изготавливались РВМ типоразмера 48×8, используемые в сварочных роботах ПР-60. Типоразмер РВМ обозначают двумя числами, разделенными символом «×». Например, типоразмер 48×8 означает, что средний номинальный диаметр резьбы винта равен 48 мм, а перемещение гайки за один оборот винта или наоборот составляет 8 мм. При этом первое число типоразмера является важнейшим геометрическим параметром планетарных РВМ, так как определяет его радиальные габариты, а второе число

— передаточной функцией (подачей гайки за один оборот винта). В качестве входного звена РВМ может быть винт, тогда выходное звено — гайка, может быть и наоборот.

С 1988 г. ПТО АО «АвтоВАЗ» освоило изготовление более 100 различных конструкций и их типоразмеров РВМ. Однако с переходом на сварочных участках автозаводов от роботов ПР-60, ПР-601/60 и других к роботам шарнирного типа, которые не оснащаются РВМ, произошел спад производства РВМ. С 1 октября 2011 г. ПТО АО «АвтоВАЗ» было преобразовано в Волжский машиностроительный завод, который является дочерним обществом ОАО «АвтоВАЗ». Таким образом, в РФ есть предприятие, имеющее опыт изготовления РВМ.

В настоящее время в нашей стране разработкой и исследованием РВМ занимаются коллективы ученых и инженеров Владимирского государственного университета (основатель проф. Д.В. Бушенин [5], затем творческий коллектив разделился на два направления исследований, одно возглавил проф. В.В. Козырев, а другое — проф. В.В. Морозов) и МГТУ им. Н.Э. Баумана. По данной тематике ими опубликовано достаточно большое количество работ и получен ряд авторских свидетельств и патентов на изобретения. Следовательно, для разработки и серийного изготовления современных электромеханических приводов для различных отраслей машиностроения в России имеются все необходимые условия.

Естественно, что конструкции РВМ и другие изделия электромеханических приводов должны соответствовать современному уровню техники.

**Обзор современных конструкций РВМ.** Для РВМ, основными деталями которых являются винт, гайка и резьбовые ролики, существует несколько принципиальных конструкций, большинство из которых может иметь различные исполнения. Наличие достаточно большого количества конструкций РВМ является их неоспоримым достоинством, так как каждая конструкция обладает определенной совокупностью свойств и предназначена для конкретной области применения.

Рассмотрим известные конструкции силовых РВМ и определим их место в соответствии с разработанным классификатором (рис. 1). Большинство РВМ, применяемых в различных устройствах, являются механизмами, в которых при работе резьбовые ролики совершают планетарное движение. Такие РВМ называют планетарными роликовинтовыми механизмами (ПРВМ). Рассмотрим ПРВМ с гайкой.

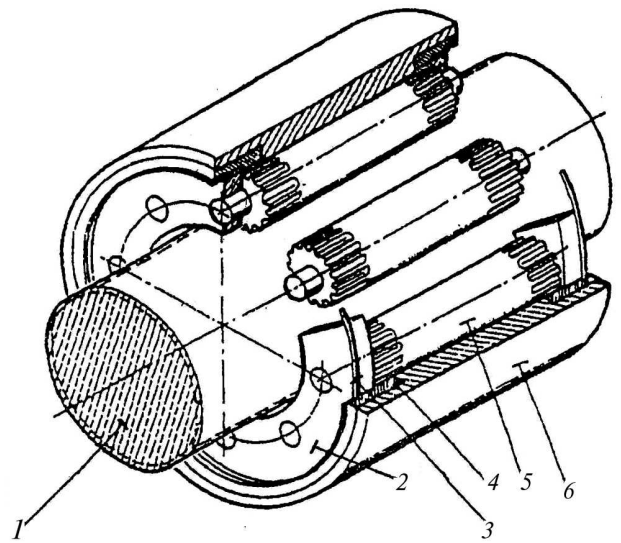


Рис. 2. Конструктивная схема ПРВМ

ров ограничивается с помощью разрезных пружинных колец 3.

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. Возможно обратное движение, когда вращается гайка, а винт перемещается вдоль своей оси.

Теоретически рабочую осевую силу передают все сопрягаемые витки винта, всех роликов и гайки, поэтому данный механизм обладает наибольшей нагрузочной способностью (статической и динамической грузоподъемностью) среди всех известных ПРВМ. Кроме того, достоинствами этого механизма по сравнению с другими ПРВМ является более простая конструкция, сборка и наладка, а также возможность больших перемещений выходного звена. К недостаткам относится низкая кинематическая точность и осевая жесткость при малых нагрузках, а также достаточно узкий диапазон передаточной функции.

Беззазорный ПРВМ (рис. 3) имеет длинный винт и работает без рециркуляции роликов. Механизм состоит из винта 1, установленного в сепараторах 2, резьбовых роликов 3, сборной гайки, корпусных деталей 4 и 5, которые

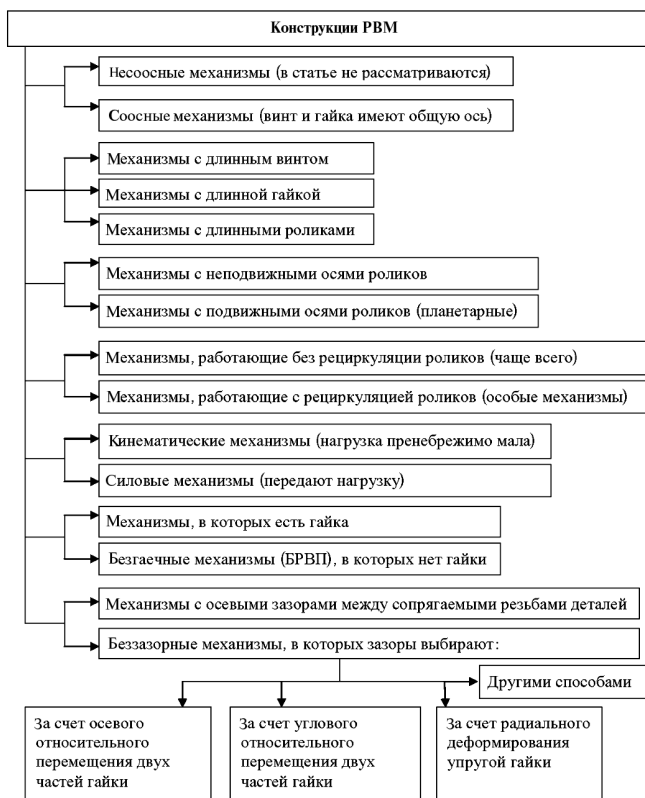


Рис. 1. Классификация конструкций РВМ

Простейший ПРВМ имеет длинный винт, работает без рециркуляции роликов и между его резьбовыми деталями существуют боковые зазоры, без которых механизм невозможно собрать. Такой механизм называют ПРВМ с цельной гайкой. Он состоит (рис. 2) из многозаходного винта 1 и гайки 6, резьбовых роликов 5, шейки которых входят с зазором в отверстия сепараторов 2, расположенных с двух торцов гайки. На концах роликов есть наружные зубчатые венцы, которые зацепляются с внутренними зубчатыми венцами втулок 4, закрепленных в гайке. Осевое перемещение сепарато-

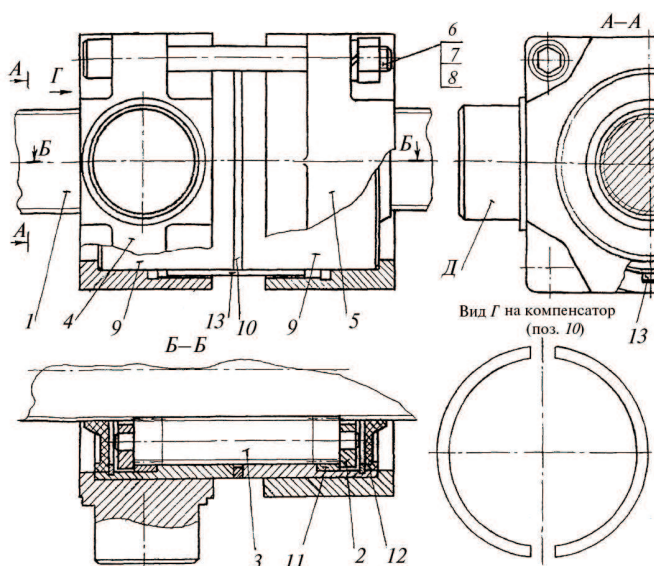


Рис. 3. Беззазорный ПРВМ

сжимают гайку силой предварительного нагружения (силой преднагрузки)  $F_{п.н}$  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. 3). Такая конструкция компенсатора позволяет извлекать и устанавливать его без разборки гайки. В каждой полугайке закреплена втулка 11 с внутренним зубчатым венцом и маслосъемное кольцо 12. На корпусной детали 4 выполнены базовые элементы Д, предназначенные для соединения гайки с исполнительным механизмом (на рисунке не показан).

Для взаимной ориентации полугаек и корпусных деталей, а также для передачи с полугаек на корпусные детали крутящего момента от сил трения в резьбе предназначена шпонка 13.

Беззазорный ПРВМ имеет более сложную конструкцию, сборку и наладку, чем ПРВМ с цельной гайкой. Беззазорный ПРВМ превосходит механизм с цельной гайкой по точности и жесткости при малых нагрузках [3], но имеет более низкий КПД и примерно в 2 раза меньшую нагрузочную способность. Это объясняется тем, что в передаче рабочей осевой силы участвует только одна полугайка.

Конструкция ПРВМ с рециркуляцией роликов показана на рис. 4. В этом ПРВМ при вращении винта ролики и гайка перемещаются в осевом направлении на различные величины.

Механизмы таких конструкций серийно производят на известной фирме SKF [6].

ПРВМ с рециркуляцией роликов состоит из винта 1, резьбовых роликов 2, гайки 3, сепаратора 4, двух направляющих шайб 5, расположенных по концам гайки. Для закрепления шайб предназначены стопорные винты 6. Сепаратор вращается в гайке вместе с роликами и обеспечивает параллельность осей роликов, винта и гайки. Угол подъема резьбы на гайке и роликах различен. В результате гайка и ролики имеют разное осевое перемещение.

Для предотвращения выкатывания роликов из гайки в ней имеется продольный паз 7. Во время работы передачи ролики, совершая планетарное движение, поочередно попадают в паз 7. Находясь в пазу, ролик выходит из зацепления с гайкой и винтом и с помощью направляющей шайбы 5 перемещается вдоль паза, компенсируя разницу в осевом перемещении с гайкой. Выйдя из паза, ролик вновь входит в зацепление с гайкой и винтом.

Фирма SKF выпускает ПРВМ с рециркуляцией роликов двух модификаций — SV и PV. ПРВМ модификации SV имеют осевой зазор в резьбовых сопряжениях. В механизмах модификации PV возможно создание силы преднагрузки, при которой обеспечивается оптимальная осевая жесткость ПРВМ. ПРВМ имеют различные варианты исполнения гаек. Данные механизмы обеспечивают высокую точность, жесткость, надежность и нагрузочную способность, однако они не предназначены для реализации больших линейных скоростей и ускорений. Поэтому ПРВМ с рециркуляцией роликов применяют в областях, где необходимы малые медленные перемещения с высокой точностью при различных осевых силах: оборудование для типографий, системы наведения телескопов, медицинское и лабораторное оборудование.

В конструкциях ПРВМ с длинными роликами при вращении винта гайка перемещается относительно единого узла, состоящего из винта и роликов. В механизмах этой группы длина резьбовой части винта равна длине резьбовой части роликов, а длина резьбовой части гайки меньше длины резьбовой части винта. Поэтому

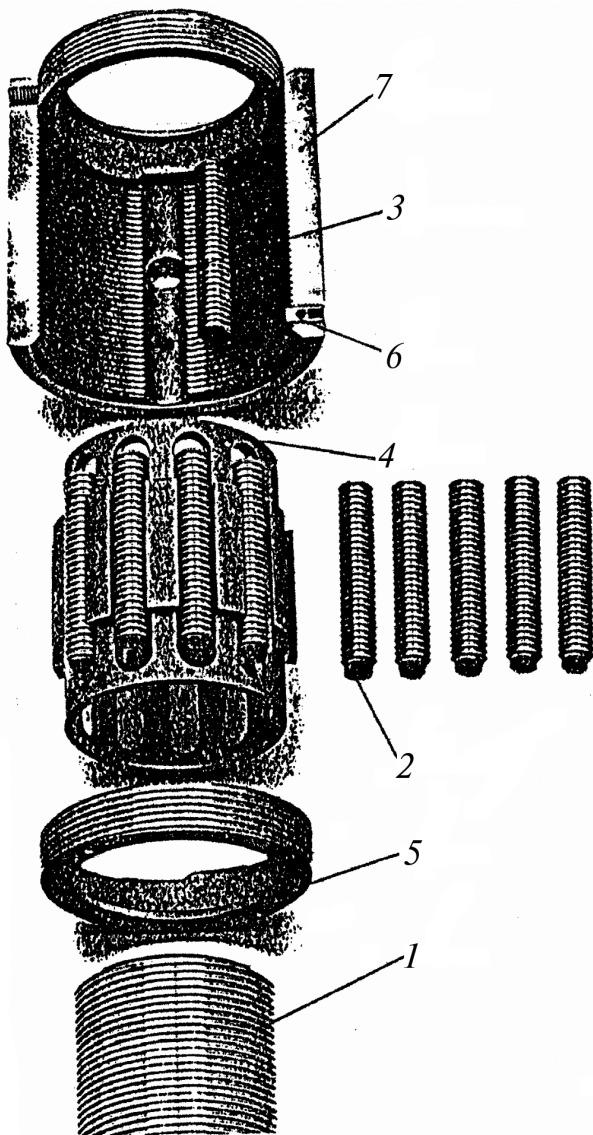


Рис. 4. ПРВМ с рециркуляцией роликов

такие механизмы получили название ПРВМ с длинными роликами. Данные механизмы разработаны профессором В.В. Козыревым [7] и в настоящее время изучаются и совершенствуются во Владимирском государственном университете его учениками.

ПРВМ с длинными роликами (рис. 5) состоит из винта 1, резьбовых роликов 2, гайки 3 и опорных устройств, которые чаще всего выполняют в виде опорных гаек 4. Углы подъема резьбы на роликах и опорных гайках равны по величине и направлению, а углы подъема резьбы на винте и роликах равны по величине, но противоположны по направлению. Зубчатые венцы 5, расположенные на концах роликов,

входят в зацепление с зубчатыми венцами 6 винта и зубчатыми венцами 7 опорных гаек.

Механизмы обладают большим диапазоном выбора подачи гайки за один оборот винта, малым моментом инерции, высокой кинематической точностью и точностью позиционирования гайки. К недостаткам данных механизмов относят сложность изготовления протяженных нежестких роликов, большую чувствительность к погрешностям изготовления. В результате область применения ПРВМ с длинными роликами чаще всего ограничивается малонагруженными приводами.

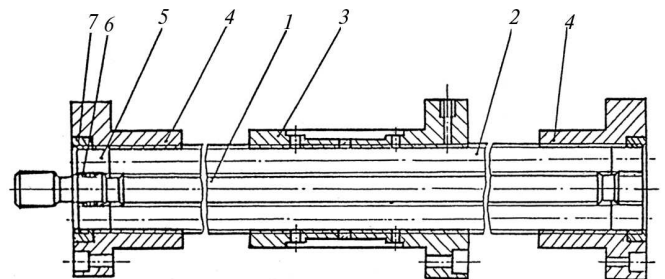


Рис. 5. ПРВМ с длинными роликами

В конструкции ПРВМ с длинной гайкой (рис. 6) длина резьбы на винте 3 равна длине резьбы роликов 2, которые дополнительно связаны с винтом зубчатыми зацеплениями. Длина внутренней резьбы гайки 1 превосходит длину резьбы винта на величину хода. Винт является выходным звеном, имеет резьбовой участок, на одном конце которого нарезаны зубчатые венцы, а на другом — направляющий участок.

Достоинства этой конструкции состоят в том, что гайка представляет собой корпус, внутри которого расположены все остальные детали механизма. При этом упрощается смазка и герметизация ПРВМ. Основной недостаток — технологическая сложность изготовления многозаходной, высокоточной резьбы на

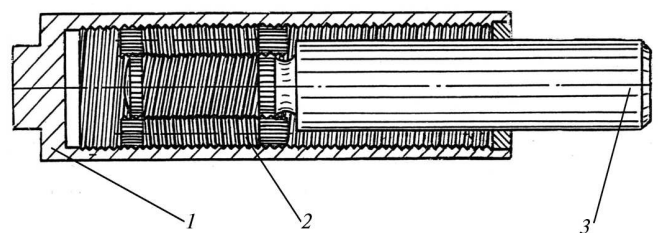


Рис. 6. ПРВМ с длинной гайкой

длинной и твердой внутренней цилиндрической поверхности гайки. Поэтому такие ПРВМ применяются для малого хода винта.

**Основания для расширения гаммы ПРВМ и разработки безгаечных РВМ.** Являясь наиболее перспективными механизмами, преобразующими вращательное движение в поступательное движение, ПРВМ имеют ряд конструкций (гамму конструкций), которые применяются в различных отраслях машиностроения. Каждая конструкция ПРВМ обладает определенными свойствами, часть из которых относится к достоинствам этих механизмов, а другая часть — к недостаткам.

Существуют основные тенденции развития ПРВМ: повышение точности, нагрузочной способности, КПД, надежности и долговечности этих механизмов, увеличение скорости и ускорения выходного звена механизма, расширение диапазона варьирования подачи выходного звена за один оборот входного звена и т. д. Перечисленные тенденции развития ПРВМ являются противоречивыми, т. е. невозможно сочетать в одной конструкции РВМ все перечисленные тенденции.

Чтобы соответствовать современному уровню развития машиностроения, ПРВМ необходимо постоянно совершенствовать на основе теоретических и экспериментальных исследований и опыта эксплуатации, который должен обобщаться и анализироваться. При этом следует модернизировать известные конструкции этих механизмов и разрабатывать принципиально новые конструкции, обладающие новыми свойствами и их сочетаниями, т. е. должна расширяться гамма конструкций ПРВМ.

Следует отметить сложности, возникающие при изготовлении деталей ПРВМ:

1) для шлифования наружной резьбы на винте и роликах нужно использовать 5-координатные прецизионные станки Matrix 3750/4750/5750 и 7050 (марка станка зависит от длины винта) с управлением от системы ЧПУ или станки Reishauer. Для шлифования внутренней резьбы на гайке, как правило, необходимы многокоординатные прецизионные станки Matrix 6950/6960 с ЧПУ, имеющие ограничения: по минимальному диаметру отверстия 15 мм, по максималь-

ному диаметру отверстия 250 мм, по максимальной длине обработки 300 мм и др. Указанные станки являются дорогостоящими и требуют высокой квалификации станочника. Для изготовления резьбы на деталях ПРВМ нужны два станка: для наружного шлифования, для внутреннего шлифования;

2) гайка ПРВМ имеет внутреннюю многозаходную резьбу, обработка и контроль которой представляют сложную технологическую и метрологическую задачу;

3) для шлифования внутренней резьбы диаметр инструмента должен быть меньше диаметра отверстия в заготовке гайки, т. е. менее 15 мм. 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. Кроме того, оправка для закрепления инструмента имеет низкую изгибную и крутильную жесткость, что оказывает влияние на режимы резания и точность обработки.

Отсюда следует, что при освоении производства ПРВМ наибольшую сложность представляет обработка резьбы на гайке. Кроме того, изготовление ПРВМ с малыми диаметрами резьбы гайки (менее 15 мм) в настоящее время невозможно, а потребность в таких механизмах достаточно большая и существует тенденция к уменьшению радиальных габаритов РВМ.

Таким образом, разработка конструкции РВМ, которая не имела бы резьбовой гайки, является актуальной проблемой. Назовем такой РВМ безгаечным роликовинтовым механизмом (БРВМ).

Для изготовления БРВМ существенно упрощается технология изготовления деталей и снижается стоимость механизма.

Для изготовления БРВМ один прецизионный дорогостоящий станок не нужен.

Для БРВМ нет принципиальных ограничений по минимальному диаметру винта и роликов, а гайки в этом механизме нет.

**Особенности БРВМ.** Если в РВМ отсутствует резьбовая гайка, то ее функции должны выпол-

нять уже имеющиеся детали и узлы или детали и узлы, которыми необходимо оснастить механизм. Гайка передает рабочую осевую силу с роликов на корпус механизма и удерживает блок роликов в радиальном направлении в контакте с винтом.

Для передачи рабочей осевой силы с роликов на корпус механизма предлагается использовать шары. Каждый шар одновременно устанавливается в сферическом поднутрении на торце крышки корпуса и в сферическом поднутрении на торце ролика. При этом в местах передачи нагрузки с ролика на шар и с шара на крышку корпуса действует трение верчения.

Известным конструкциям ПРВМ присущ существенный недостаток — вследствие особенности нагружения роликов в ПРВМ невозможно достичь равномерного распределения рабочей осевой силы между сопрягаемыми витками деталей механизма вдоль образующих. В самом лучшем случае из-за действия опрокидывающего момента коэффициент неравномерности распределения нагрузки вдоль образующих ролика превышает 1,5 [8]. С увеличением рабочей осевой силы, длины роликов и числа заходов резьбы винта и гайки неравномерность указанного распределения снижается. Она также снижается с уменьшением погрешностей изготовления резьбы деталей по шагу, особенно с уменьшением разброса шагов резьбы от среднего значения. Однако резервы по повышению точности изготовления деталей ПРВМ ограничены.

При нагружении ролика ПРВМ возникает опрокидывающий момент [7]

$$M = F_A [l] d_{2p},$$

где  $l$  — порядковый номер ролика в механизме;  $F_A [l]$  — осевая сила, действующая на  $l$ -й ролик;  $d_{2p}$  — средний диаметр резьбы ролика.

В БРВМ при передаче рабочей осевой силы с роликов на корпус механизма с помощью шаров суммарная осевая сила, действующая со стороны ролика на корпус, будет направлена вдоль оси ролика. В этом случае момент

$$M = F_A [l] d_{2p} / 2,$$

т. е. в 2 раза меньше, чем для ПРВМ, так как плечо пары сил равно  $d_{2p} / 2$ . Следовательно, примерно в 2 раза будет меньше и неравномерность нагружения витков ролика вдоль обра-

зующей. Это является одним из достоинств БРВМ по сравнению с РВМ, имеющим гайку.

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 эти пазы, желательно без радиальных зазоров, установить жесткие в радиальном направлении кольца, которые и будут удерживать ролики. При работе БРВМ ролики вращаются и за счет сил трения вовлекают во вращение кольца, т. е. кольца катятся по пазам роликов с минимальными потерями.

**Конструкции БРВМ.** Разработаны и запатентованы несколько конструкций БРВМ [9—12]: с неподвижными осями роликов, с вращающимися осями роликов и др. Эти механизмы после освоения производства, метрологических и экспериментальных исследований, возможных доработок могут найти рациональные области применения. Одной из наиболее перспективных областей является разработка БРВМ с малыми радиальными размерами. С такими механизмами не могут конкурировать ПРВМ из-за невозможности их изготовления.

БРВМ любой конструкции состоит из входного звена — винта  $1$  и выходного звена — узла, совершающего поступательное перемещение с базовыми элементами  $B$  (рис. 7). Базовые элементы предназначены для соединения указанного узла с исполнительным механизмом. Возможно перемена входного и выходного звена.

БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе имеет одну степень свободы роликов (ролики могут только вращаться вокруг собственной оси), поэтому дополнительная связь роликов с корпусом (зубчатые зацепления роликов и втулок гайки в РВМ, см. рис. 2) не нужна. Это является дополнительным достоинством БРВМ по сравнению с ПРВМ.

Будем считать, что на рис. 8 показан такой разрез БРВМ осевыми плоскостями  $A-A$ , что над осевой линией винта в плоскость разреза попала осевая плоскость ролика, а под осевой линией винта плоскость разреза прошла между роликами.

БРВМ (см. рис. 8) 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 угло-



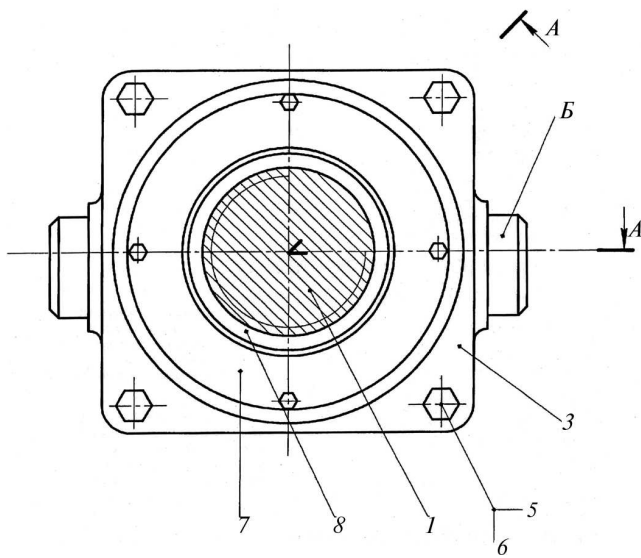


Рис. 7. Безгаечный роликовинтовой механизм (БРВМ)

вой ориентации крышек относительно корпуса используются конические или цилиндрические штифты, которые на рис. 8 не показаны.

Винт и ролики (см. рис. 8), зацепляются витками своей резьбы (имеют сопрягаемые витки резьбы). Между корпусом 3 и крышками 4 установлены компенсаторные кольца 7 или наборы регулировочных прокладок. На внутренней торцевой поверхности каждой крышки выполнено  $N$  сферических поднутрений  $A$  с радиусом  $R_k$ , на корпусе 3 — базовые элементы  $B$ . На наружной торцевой поверхности каждой крышки 4 с помощью втулок 8 с осевым и радиальным зазорами закреплен маслоотражатель 9.

На каждом ролике (см. рис. 8) предусмотрено два кольцевых паза  $B$ , в которых установлены кольца 10. На торцах каждого ролика выполнены сферические поднутрения  $\Gamma$  с радиусом  $R_p = R_k$ . Шары 11, радиусы которых  $R_{ш} < R_k$ , установлены одновременно в соответствующих сферических поднутрениях  $A$  крышек и  $\Gamma$  роликов. Чтобы ось каждого ролика была параллельна оси винта сферические поднутрения  $A$  на крышках выполнены с высокой точностью углового положения и предусмотрена угловая ориентация крышек относительно корпуса с помощью штифтов.

При работе рассматриваемой БРВМ винт вращается вокруг своей оси, ролики вращаются вокруг своей оси и вместе с корпусом совершают поступательное движение вдоль оси вин-

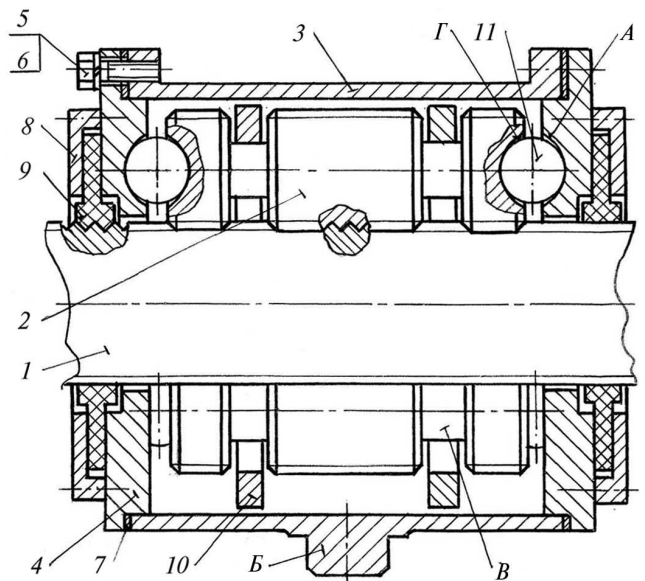


Рис. 8. Разрез БРВМ с неподвижными осями роликов в корпусе осевыми плоскостями  $A-A$  (см. рис. 7)

та. Рабочая осевая сила передается с винта на ролики через сопрягаемые витки резьбы этих деталей, а затем с роликов через контакт сферических поднутрений  $\Gamma$  на роликах с шарами и шаров со сферическими поднутрениями  $A$  на одной из крышек — на корпус.

**Перспективные теоретические исследования РВМ.** Как отмечалось, для совершенствования РВМ необходимы их дальнейшие теоретические исследования.

Западные фирмы-производители ПРВМ считают, что основным критерием работоспособности ПРВМ является усталостное выкрашивание. Отсюда широко используется расчет ПРВМ по статической и динамической грузоподъемности, который позволяет достаточно просто выбрать типоразмер механизма по заданным исходным данным или выполнять проверочные расчеты. В каталогах фирм-изготовителей ПРВМ значение статической и динамической грузоподъемности зависит от типоразмера РВП. При этом нет зависимости статической и динамической грузоподъемности ПРВП от точности изготовления резьбовых деталей по шагу резьбы, от величины осевого зазора (если он есть) и пр.

Коллектив исследователей из МГТУ им. Н.Э. Баумана считает, что основным критерием работоспособности ПРВМ яв-

ляется износостойкость. Это предположение обосновано в работах [8, 13—15].

Расчет по износостойкости очень сложный, пока заложены только его основы, например, определение числа циклов нагружения витков деталей ПРВМ [15]. Однако этот расчет в отличие от расчета ПРВМ по динамической грузоподъемности может дать ответ на следующие вопросы:

- как в процессе эксплуатации будут меняться профили витков резьбовых деталей;
- как в процессе эксплуатации из-за изменения профилей витков деталей ПРВМ будет меняться осевая жесткость и допускаемая статическая и динамическая нагрузка;
- как в процессе эксплуатации будет изменяться осевой люфт ПРВМ с цельной гайкой (с осевыми зазорами);
- как в процессе эксплуатации будет изменяться сила преднатяга беззазорного ПРВМ? Когда возможно раскрытие стыка двух полугаек;
- когда надо проводить переналадку беззазорного ПРВМ или механизма с осевыми зазорами;
- как в процессе эксплуатации будут меняться кинематические параметры (скорости скольжения) и КПД;
- как в процессе эксплуатации будет меняться точность перемещения выходного звена механизма.

Таким образом, расчет ПРВМ по износостойкости является очень перспективным, а его разработка — актуальной.

Следует отметить, что расчет БРВМ по износостойкости существенно проще, чем расчет ПРВМ по износостойкости. Объясняется это тем, что витки ролика БРВМ изнашиваются только в сопряжении с витками винта, а витки ролика ПРВМ изнашиваются в сопряжении с витками винта и в сопряжении с витками гайки с различной интенсивностью износа. Кроме того, кинематика деталей БРВМ, оси роликов которого неподвижны, существенно проще кинематики деталей ПРВМ. Отсюда целесообразно сначала разработать методику расчета по износостойкости БРВМ, а затем, с учетом приобретенного опыта, разработать методику расчета по износостойкости ПРВМ.

## Выводы

1. В результате анализа достоинств и недостатков известных конструкций РВМ разработан их новый подкласс — БРВМ, которые имеют ряд отличительных свойств и расширяют гамму конструкций РВМ.

2. При изготовлении БРВМ не надо изготавливать гайку с многозаходной, высокоточной резьбой. В связи с этим существенно упрощается технология изготовления этих механизмов, снижается их стоимость и не требуется дополнительный дорогостоящий станок для внутреннего шлифования резьбы. Кроме того, создается предпосылка для достаточно простого освоения производства БРВМ, являющихся одним из подклассов РВМ, предприятиями РФ.

3. Для изготовления БРВМ не существует технологических ограничений по минимальному диаметру винта и роликов, а гайки в этом механизме нет, поэтому одной из наиболее перспективных областей применения БРВМ является использование их в приводах с малыми радиальными размерами. С такими механизмами не могут конкурировать РВМ из-за невозможности их изготовления.

4. Конструкция БРВМ не имеет гайки, а, в ряде случаев, БРВМ может не иметь собственного корпуса, и встраиваться в другие устройства. Следовательно, эти передачи по сравнению с РВМ имеют меньшие радиальные габаритные размеры, что также является достоинством БРВМ по сравнению с РВМ.

## Литература

1. Каталог фирмы Exlar Corporation. США: Рег. № 950008/15М/6/03. 2001. 85 с.
2. Павлов Б.И. Шарико-винтовые механизмы в приборостроении. Л., М.: Машиностроение, 1968. 134 с.
3. Марголин Л.В. Планетарная передача винт-гайка качения с резьбовыми роликами // Станки и инструмент. 1970. № 1. С. 42—43.
4. Козырев В.В. Конструкции роликовинтовых передач и методика их проектирования. В.: Владим. гос. ун-т, 2004. 100 с.
5. Бушенин Д.В. Несосные винтовые механизмы. М.: Машиностроение, 1985. 112 с.
6. SKF roller screws: SKF. Printed in France, 2008. 88 p.
7. Козырев В.В. Анализ и синтез роликовинтовых передач, как исполнительных механизмов электромеханических приводов: Дис. ... докт. техн. наук. Владимир, 1995. 408 с.
8. Блинов Д.С. Планетарные роликовинтовые механизмы. Конструкции, методы расчетов / Под ред. О.А. Ряховского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 222 с.

9. Патент РФ № 2272199 «Устройство для преобразования вращательного движения в поступательное» / Д.С. Блинов, О.А. Ряховский, П.А. Соколов и др. // Б.И. 2006. № 8.

10. Патент РФ № 2310785 «Устройство для преобразования вращательного движения в поступательное» / Д.С. Блинов, О.А. Ряховский, П.А. Соколов и др. // Б.И. 2007. № 32.

11. Патент РФ № 2374527 «Устройство для преобразования вращательного движения в поступательное (варианты)» / Д.С. Блинов, Г.П. Кондрашова, О.А. Ряховский и др. // Б.И. 2009. № 33.

12. Патент РФ № 2463500 «Устройство для преобразования вращательного движения в поступательное» / Д.С. Блинов, И.А. Лаптев // Б.И. 2012. № 28.

13. Перспективные преобразователи вращательного движения в поступательное / П.А. Соколов, Д.С. Блинов, О.А. Ряховский и др. // Вестник машиностроения. 2008. № 10. С. 35–40.

14. Блинов Д.С. Разработка модели взаимодействия витков резьбы деталей планетарных роликовинтовых передач // Справочник. Инженерный журнал. 2011. № 2. С. 22–33.

15. Блинов Д.С. Определение числа циклов нагружения витков резьбы деталей планетарных роликовинтовых передач // Справочник. Инженерный журнал. 2003. № 7. С. 19–25.

## References

1. Katalog firmy Exlar Corporation [Catalog of Exlar Corporation]. USA, SShA, Reg. № 950008/15M/6/03, 2001. 85 p.

2. Pavlov B.I. *Shariko-vintovye mekhanizmy v priborostroenii* [Ball-screw mechanisms in instrument]. Leningrad, Moscow, Mashinostroenie publ., 1968. 134 p.

3. Margolin L.V. Planetarnaia peredacha vint-gaika kachenii s rez'bovymi rolíkami [Planetary gear screw-threaded nut bearing rollers]. *Stanki i instrument*, 1970, no. 1, pp. 42–43.

4. Kozyrev V.V. Konstruktsii rolikovintovykh peredach i metodika ikh proektirovaniia [Rolikovintovykh gear design and methods of their design]. Vladimir State University, Vladimir, 2004. 100 p.

5. Bushenin D.V. *Nesoosnye vintovye mekhanizmy* [Miss screw mechanisms]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1985. 112 p.

6. SKF roller screws. SKF, Printed in France, 2008. 88 p.

7. Kozyrev V.V. *Analiz i sintez rolikovintovykh peredach, kak ispolnitel'nykh mekhanizmov elektromekhanicheskikh privodov. Dis. dokt. tekhn. nauk* [Analysis and synthesis rolikovintovykh broadcasts as actuators electromechanical actuators. Dis. Doctor. Tech. Science]. Vladimir, 1995. 408 p.

8. Blinov D.S. Planetarnye rolikovintovye mekhanizmy. Konstruktsii, metody raschetov [Planetary rolikovintovye mechanisms. Design, calculation methods]. Ed. O.A. Riakhovskii. Moscow, MSTU named after N.E. Bauman, 2006. 222 p.

9. Blinov D.S., Riakhovskii O.A., Sokolov P.A., Laptev I.A., Vishnevskij S.N. *Ustroistvo dlia preobrazovaniia vrashchatel'nogo dvizheniia v postupatel'noe* [Device for converting rotation into reciprocation]. Patent RF, no. 2272199. B. I., 2006, no. 8.

10. Blinov D.S., Riakhovskii O.A., Sokolov P.A., Laptev I.A., Vishnevskij S.N. *Ustroistvo dlia preobrazovaniia vrashchatel'nogo dvizheniia v postupatel'noe* [Device to convert rotation into translational motion]. Patent RF, no. 2310785. B. I., 2007, no. 32.

11. Blinov D.S., Kondrashova G.P., Riakhovskii O.A., Sokolov P.A., Laptev I.A. *Ustroistvo dlia preobrazovaniia vrashchatel'nogo dvizheniia v postupatel'noe (varianty)* [Device for transformation of rotary motion into progressive (versions)]. Patent RF, no. 2374527, B.I., 2009, no. 33.

12. Blinov D.S., Laptev I.A., Frolov A.V. *Ustroistvo dlia preobrazovaniia vrashchatel'nogo dvizheniia v postupatel'noe* [Rotation-to-translation converter]. Patent RF, no. 2463500, B.I., 2012, no. 28.

13. Sokolov P.A., Blinov D.S., Riakhovskii O.A. Perspektivnye preobrazovateli vrashchatel'nogo dvizheniia v postupatel'noe [Perspective revolutive translational pair converters]. *Russian Engineering Research*. 2008, no. 10, pp. 35–40.

14. Blinov D.S. Razrabotka modeli vzaimodeistviia vitkov rez'by detalei planetarnykh rolikovintovykh peredach [Model of the Interaction the Turns of the Thread of the Planetary Roller Screws Details: an Experience of Development]. *Handbook. An Engineering journal*, 2011, no. 2, pp. 22–33.

15. Blinov D.S. Opredelenie chisla tsiklov nagruzheniia vitkov rez'by detalei planetarnykh rolikovintovykh peredach [Determination of the number of loading cycles of threads parts rolikovintovykh planetary gear]. *Handbook. An Engineering journal*, 2003, no. 7, pp. 19–25.

Статья поступила в редакцию 06.02.2012

## Информация об авторах

**БЛИНОВ Дмитрий Сергеевич** (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Основы конструирования и детали машин». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, ул. 2-ая Бауманская, д.5, стр.1, e-mail: dmitriyblinov@mail.ru).

**МОРОЗОВ Михаил Игоревич** (Москва) — начальник отдела перспективных технологий. ФГУП «НИИСУ» (107113, Москва, Российская Федерация, Сокольнический вал, 37/10, e-mail: mihailmi@mail.ru).

## Information about the authors

**BLINOV Dmitry Sergeevich (Moscow)** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of «Fundamentals of Design and Machine Elements» Department. MSTU named after N.E. Bauman (105005, BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya 5, Moscow, Russian Federation, e-mail dmitriyblinov@mail.ru).

**MOROZOV Mikhail Igorevich (Moscow)** — Head of Department of Perspective Technology. Federal State Unitary Enterprise «NIISU» (107113, Moscow, Russian Federation, Sokolnichesky Val, 37/10, e-mail: mihailmi@mail.ru).