

## РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАТОРА РОЛИКОВИНТОВЫХ ПЕРЕДАЧ И ВЫБОР ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Д.Н. Пугачевский

dpugachevsky@yandex.ru

*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация*

Планетарные роликвинтовые передачи (ПРВП) представляют собой наиболее перспективные преобразователи вращательного движения в поступательное. Актуальны исследования ПРВП, позволяющие устанавливать связи точности изготовления винта, роликов и гайки ПРВП с ее эксплуатационными параметрами. Указанные связи планируется определять статистико-вероятностными методами, используя методы имитационного моделирования. Среди эксплуатационных параметров планируется исследовать кинематическую погрешность, жесткость, статическую грузоподъемность и динамическую грузоподъемность ПРВП. Объектом исследования служат ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом.

**Ключевые слова:** планетарная роликвинтовая передача, ролик, винт, гайка, эксплуатационные параметры

**Введение.** С помощью машин человечество создает почти все материальные ценности, машины помогают оказывать многочисленные различные услуги, т. е. машиностроение является ключевой отраслью промышленности.

Машины состоят из агрегатов, механизмов, узлов и деталей [1]. При этом в машинах очень часто используются передаточные механизмы (передачи), которые можно условно подразделить на подклассы по ряду признаков. Один из подклассов — передачи, преобразующие вращательное движение от двигателя в поступательное движение исполнительного механизма. Среди них доминируют винтовые передачи, которые применяются, например, в домкратах, станках, приборах, системах слежения и наведения, а также в изделиях аэрокосмической техники, атомной энергетики, военной технике, робототехники и др.

Области применения винтовых передач очень разнообразны, также разнообразны и требования, предъявляемые к ним. Эти требования формировались по мере развития машиностроения. Поскольку объект исследования относится к механизмам для преобразования вращательного движения в поступательное, рассмотрим этапы развития винтовых передач [2] и выберем наиболее перспективную конструкцию.

**История развития винтовых передач.** Винтовые передачи были изобретены более двух тысяч лет тому назад, их использовали в деревянных прессах

для выжимания оливкового масла и вина. С течением времени их модернизировали, и в настоящее время они достаточно широко используются в самых различных отраслях машиностроения.

**Винтовые передачи винт-гайка скольжения.** Эти передачи имеют несколько конструктивных исполнений [1, 2]. Рассмотрим самую простую конструкцию (рис. 1), состоящую из винта 1, гайки 2, направляющей 3 и корпусных деталей, которые на рисунке не показаны.

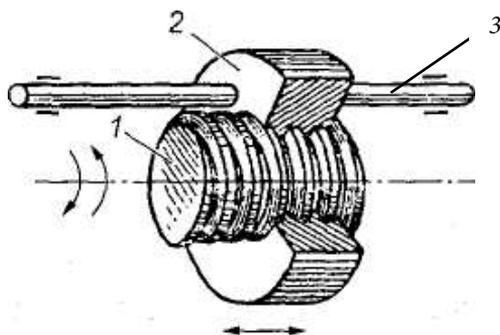


Рис. 1. Конструкция передачи винт-гайка скольжения

Эти передачи имеют много достоинств: большой выигрыш в силе; высокую нагрузочную способность при малых габаритах; простоту конструкции; наличия отлаженной технологии, станков и инструмента; плавную и бесшумную работу; возможность самоторможения; высокую точность осевого перемещения и др.

Из-за больших скоростей скольжения эти винтовые передачи обладают рядом существенных недостатков, ограничивающих области их применения. К ним относятся: большие потери на трение; низкий КПД; низкое быстродействие; необходимость в дорогостоящих антифрикционных материалов для изготовления гайки; низкий ресурс и др.

Для устранения указанных недостатков необходимо разработать винтовые передачи, в которых реализуется трение качения.

**Шариковинтовые передачи (ШВП).** В ШВП переход от трения скольжения к трению качения произошел путем введения между винтом и гайкой дополнительных деталей — шариков. Шариковинтовая передача состоит из ходового винта 1, гайки 2, канала возврата 3, по которому шарики 4 возвращаются в начальное положение (рис. 2). На поверхностях винта и гайки предусматривают резьбовые дорожки для качения шаров, профиль которых выполняют полукруглыми или они имеют профиль готической арки [2].

Шариковинтовые передачи конструируют с одной, двумя, но чаще с тремя группами шаров, каждая группа независимо циркулирует по своей замкнутой траектории [2]. Для каждой группы шаров предусмотрен свой канал возврата шаров в начальное положение. При этом одна группа шаров смещена в осевом направлении от двух соседних групп на величину шага резьбы.

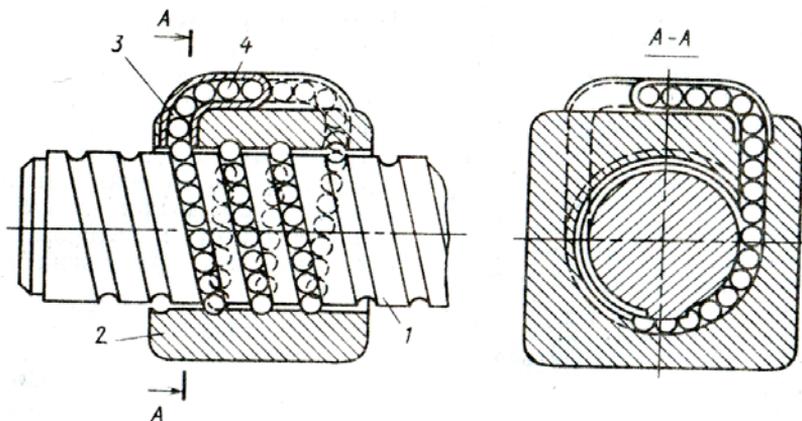


Рис. 2. Шариковинтовая передача с одной группой шаров

Высокоточные ШВП выполняют беззазорными. Для этого гайку делят на две полугайки, между которыми устанавливают компенсатор. Выборку осевых зазоров осуществляют сближением полугаек, конечное положение которых фиксируют.

**Роликовинтовые передачи (РВП).** В РВП переход от трения скольжения к трению качения произошел путем введения между винтом и гайкой дополнительных деталей — резьбовых роликов, а также обоснованному назначению параметров резьбовых деталей (винта, гайки и резьбовых роликов) [2].

Рассмотрим наиболее простую конструкцию РВП — планетарную роликовинтовую передачу (ПРВП) с осевым люфтом [2] — рис. 3.

Планетарная роликовинтовая передача состоит из винта 1, не менее трех резьбовых роликов, шейки которых установлены с возможностью поворота в отверстиях сепараторов 2, гайки 6, в отверстии которой с двух сторон закреплены втулки 4 с внутренними зубчатыми венцами, пружинных колец 3, ограничивающих осевое перемещение сепараторов, и других деталей. На концах каждого ролика нарезаны наружные зубчатые венцы, которые зацепляются с внутренними зубчатыми венцами втулок 4 с целью стабилизации движения роликов. Резьбы всех деталей специальные, правые, при этом винт и гайки имеют многозаходную резьбу с равным числом заходов  $z_1$ .

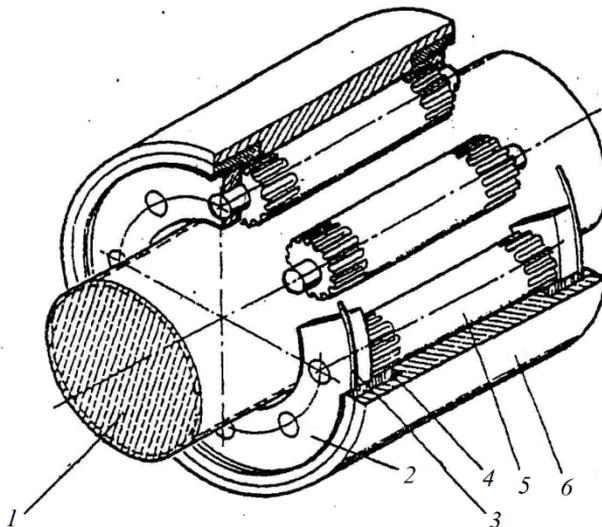


Рис. 3. Планетарная роликовинтовая передача

Для реализации в ПРВП трения качения средние диаметры резьбы роликов  $d_p$  и винта  $d_b$  связаны зависимостью  $d_p = d_b / (z_r - 2)$ , из которой следует, что  $z_r$  должно быть более двух [2]. Чаще всего для средних типоразмеров ПРВП винт и гайка имеет пяти- или шестизаходную резьбу.

Обычно при работе ПРВП винт 1 вращается, а зафиксированная от вращения гайка 6 перемещается вдоль оси. При этом ролики 5 совершают планетарное движение: каждый ролик вращается относительно своей оси, а все ролики 5 вместе с сепараторами 2 вращаются вокруг оси винта. Поэтому ПРВП называют планетарными.

**Сравнение винтовых передач.** Винтовые передачи качения (ШВП и РВП) превосходят передачу «винт — гайка скольжения» почти по всем эксплуатационным параметрам, более всего по быстродействию, кинематической точности, КПД и ресурсу.

Если сравнивать ШВП и ПРВП, то эти передачи имеют примерно одинаковые КПД и кинематическую точность, ПРВП превосходят ШВМ: по осевой жесткости — в 1,5 раза, по допускаемой частоте вращения винта — в 3 и более раз, по долговечности — до 10 раз, по диапазону изменения передаточной функции — в десятки раз и т. д. К достоинствам ПРВП относится наличие целого ряда конструктивных исполнений этих передач, поэтому для заданного исполнительного механизма, условий работы и эксплуатационных параметров можно подобрать или сконструировать наиболее рациональную конструкцию ПРВП.

В настоящее время ПРВП считаются наиболее перспективными механическими преобразователями вращательного движения в поступательное. Область применения ПРВП постоянно расширяется, и ими в различных изделиях часто заменяют другие механизмы, преобразующие вращательное движение в поступательное.

Для исследования выбраны ПРВП, имеющие целый ряд конструкций. Чтобы выбрать конструкцию ПРВП, разработаем классификатор этих передач. При этом передачи, которые или не используются, или используются редко из-за недостаточного объема их исследований, поэтому такие передачи рассматривать не будем.

**Разработка классификатора планетарных роликвинтовых передач. Обзор разработанных классификаторов РВП.** В работе [3] профессор В.В. Козырев, не разрабатывая классификатор, впервые выполнил обзор почти всех известных винтовых передач, в том числе и ПРВП, на которые сделан упор в этой работе. В работе отсутствует систематизация рассмотренных передач и их конструктивных исполнений.

В диссертации [4] представлен классификатор всех известных винтовых передач по целому ряду параметров. Например, дана классификация винтовых передач по расположению осей винта и гайки (передачи соосные и передачи несоосные). Этот классификатор является избыточным и не подходит для выбора объекта исследования.

В диссертации [5] рассмотрен классификатор роликвинтовых передач по различным признакам, а не по конструкциям, которые соответствуют признакам. Например, дана классификация «по нагрузке: кинематические; мало-нагруженные; силовые», что не подходит для выбора объекта исследования, так как наша задача — это выбор объекта исследования, т. е. конструкции.

В диссертации [6] предложен классификатор способов компенсации зазоров в беззазорных РВП. Этот классификатор относится только к беззазорным передачам и не подходит для выбора объекта исследования.

Представленные в других работах классификаторы также не подходят для данного исследования.

**Разработанный классификаторов ПРВП.** На основе перечисленных выше классификаторов решено было разработать классификатор в зависимости от базовой детали передачи, которая устанавливается в опорах, соединяется с двигателем и вдоль которой перемещается выходное звено передачи (рис. 4). Поэтому мы и называем ее базовой деталью.

Базовой деталью ПРВП может быть:

– винт; в этом случае ПРВП называют еще «с длинным винтом» (см. рис. 3);

– резьбовые ролики; в этом случае ПРВП называют еще «с длинными роликами» (рис. 5). Эти передачи изобрел и внедрил в производство профессор В.В. Козырев;

– гайка; в этом случае ПРВП называют еще «с длинной гайкой» (рис. 6). Эта передача имеет ряд конструктивных разновидностей [2], которые не будем вносить в классификатор по причине их сложности или малого ресурса.

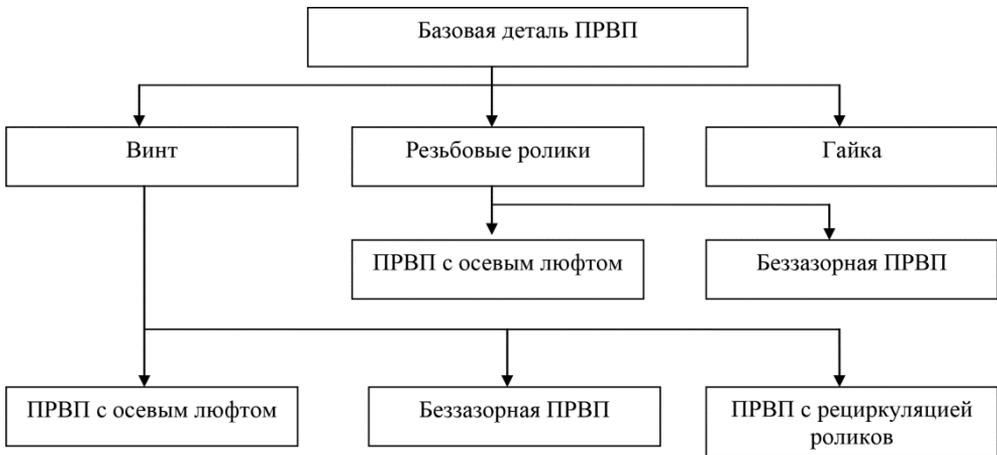


Рис. 4. Классификация ПРВП по базовой детали

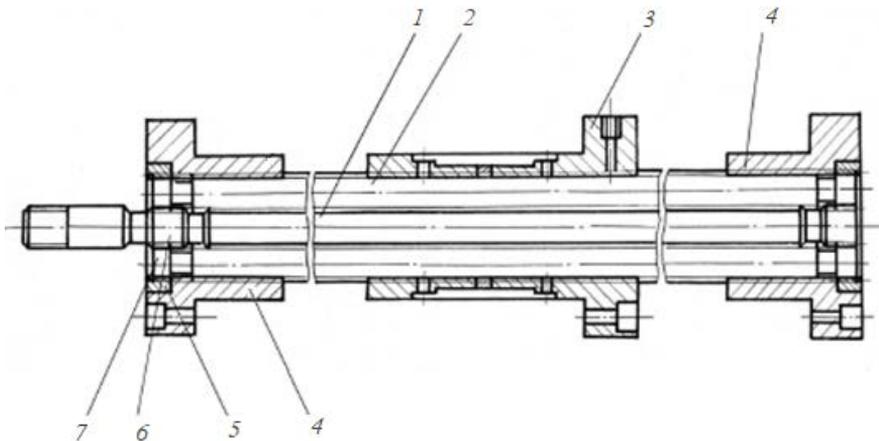


Рис. 5. ПРВП с длинными резьбовыми роликами и опорными гайками

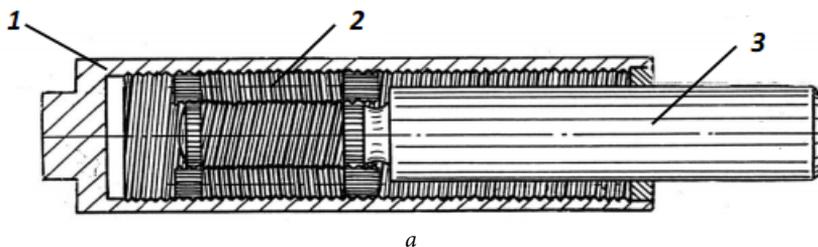
Планетарная роликовинтовая передача с длинными роликами (см. рис. 5) состоит из винта 1, резьбовых роликов 2, которых не менее трех, ходовой гайки 3 и двух опорных гаек 4 [2]. Длина резьбового участка винта примерно

равна длине резьбового участка роликов, а длина резьбы гайки меньше длины резьбового участка винта.

Для синхронизации работы роликов предусмотрены зубчатые зацепления на двух концах роликов. Для этого на роликах 2 нарезаны наружные зубчатые венцы 7, на винте 1 — наружные зубчатые венцы 6, а на опорных гайках — внутренние зубчатые венцы 5.

Главным достоинством ПРВП с длинными роликами является широкий диапазон изменения передаточной функции, при этом можно получить очень малые значения [2].

На рис. 6 представлена ПРВП с длинной гайкой (на схеме часть деталей не показана).



а



б

**Рис. 6.** ПРВП с длинной гайкой:

а — схема; б — фотография (гайка имеет смотровые окна)

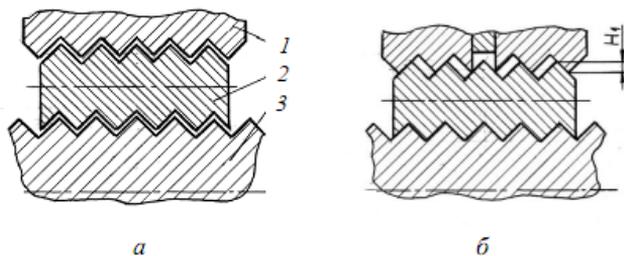
Планетарная роликовинтовая передача с длинной гайкой состоит из гайки 1, резьбовых роликов 2 и многозаходного винта с направляющей 3. Винт передачи имеет короткий резьбовой участок (с двух сторон от него нарезаны

наружные зубчатые венцы) и длинную цилиндрическую направляющую. На каждом ролике нарезана однозаходная резьба, а на концах каждого ролика прямо по резьбе нарезаны наружные зубчатые венцы. Торцовые шейки роликов входят с возможностью поворота в отверстия сепараторов. Для ограничения осевого перемещения сепараторов и удержания на винте роликов с каждой стороны винта установлены крышки. При этом образуется единый узел из всех перечисленных деталей, который можно вывинчивать из гайки и ввинчивать в нее (см. рис. 6, б).

На роликах с двух сторон выполняют наружные зубчатые венцы, которые зацепляются с наружными зубчатыми венцами, которые выполнены на винте с целью синхронизации работы роликов. В ПРВП вращается гайка, единый узел перемещается вдоль оси, а каждый ролик совершает планетарное движение. При этом гайка обычно играет роль корпуса, на который устанавливают подшипники.

ПРВП с длинным винтом имеют три конструкции (см. классификатор на рис. 4). Планетарная роликовинтовая передача с осевым люфтом показана на рис. 3 и имеет соответствующее описание. Беззазорная ПРВП с длинным винтом имеет такую же гайку, что и беззазорная ПРВП с длинными роликами, поэтому рассмотрим две эти конструкции совместно, сделав упор на гайку [2]. Эти конструкции разработаны для высокоточных электромеханических приводов, в которых осевые люфты не допускаются.

Для лучшего понимания рассмотрим в сравнении передачу, имеющую длинный винт, с осевым люфтом, и беззазорную (см. рис. 7). Известно, что собрать любую винтовую передачу без зазоров невозможно, поэтому передачу собирают с зазорами, а затем их различными способами выбирают.



**Рис. 7.** ПРВП с длинным винтом:  
а — с осевым люфтом; б — беззазорная

На рис. 7 показана ПРВП состоящая из гайки 1, роликов 2 и винта 3. Это самый простой способ выборки зазоров, для которого гайку выполняют из двух деталей, между которыми устанавливают компенсатор. Сжимая эти две

детали, выбирают зазоры, и при необходимости уменьшают толщину компенсатора.

Главным недостатком рассмотренных беззазорных передач является снижение в два раза нагрузочной способности, так как осевую силу одного направления будет воспринимать одна указанная деталь, имеющая в два раза меньшее количество работающих витков. Ресурс беззазорной ПРВП в 8 раз меньше ресурса такой же передачи с осевым люфтом.

Последней конструкцией ПРВП с длинным винтом (см. рис. 4), является передача с рециркуляцией роликов [2]. Она показана на рис. 8 и является сложным механизмом, в котором при вращении винта ролики и гайка перемещаются вдоль оси на различные расстояния.

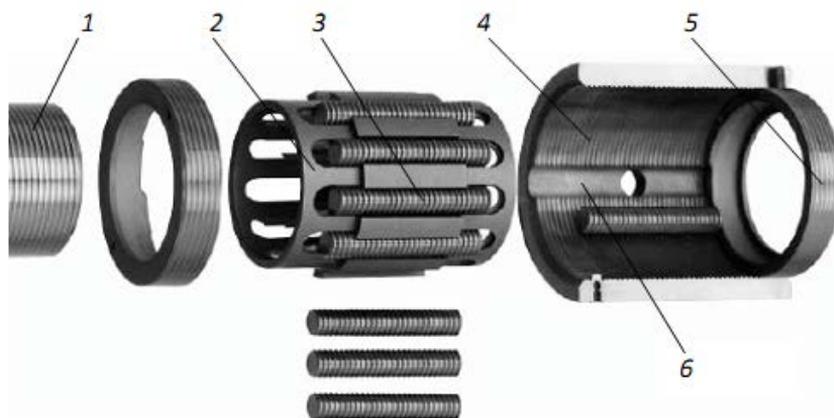


Рис. 8. ПРВП с рециркуляцией роликов

Особенностью этой передачи являются нерезьбовые ролики, на них вместо резьбы выполнены кольцевые канавки. ПРВП с рециркуляцией роликов состоит из винта 1, имеющего однозаходную или двухзаходную резьбу, сепаратора 2, выполненного в виде оболочки с продольными закрытыми пазами, в которых установлены ролики 3, гайки 4, имеющей такую же резьбу, что и винт, и двух направляющих шайб 5, закрепленных в гайке специальными винтами. На внутренней резьбовой поверхности гайки выполнен продольный паз 6.

При повороте ведущего винта относительно закрепленной от вращения гайки (гайка тоже может быть ведущей) ролики катятся по резьбовым поверхностям винта и гайки, совершая при этом планетарное движение. При сложном движении ролики еще смещаются в осевом направлении относительно гайки, а для возврата роликов в начальное положение используется

специальный механизм. Он состоит из кулачка на шайбе, в который упираются ролики при осевом перемещении, и продольного паза в гайке. Проваливаясь в паз (перемещаясь в радиальном направлении), ролик выходит из зацепления с гайкой и винтом и с помощью кулачков на шайбах перемещается вдоль паза, компенсируя разницу в осевом перемещении с гайкой. Выйдя из паза, ролик вновь входит в зацепление с гайкой и винтом.

Планетарная роликовинтовая передача с рециркуляцией роликов обеспечивают высокую точность, жесткость, надежность и нагрузочную способность. Однако передачи с рециркуляцией роликов не предназначены для работы с большими линейными скоростями и ускорениями, они дорогие и сложные в изготовлении, поэтому ограничено применяются [2].

**Анализ рассмотренных конструкций, выбор объекта исследований и направления исследования.** Планетарные роликовинтовые передачи являются пространственными, конструктивно сложными конструкциями с многочисленными избыточными связями, они имеют сложную кинематику и целый ряд особенностей [2]. При исследованиях беззазорных ПРВП возникают дополнительные трудности — это неопределенность предварительного нагружения резьбовых деталей передачи для выборки зазоров. ПРВП с длинными роликами в настоящее время ограничено применяются, они рассчитываются и конструируются только во Владимирском ГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых последователями профессора В.В. Козырева. ПРВП с рециркуляцией роликов ограничено применяется. ПРВП с длинной гайкой из-за технологических особенностей ее изготовления имеет ограничения по расстоянию, на которое может перемещаться выходное звено передачи.

Наиболее универсальной для применения и конструктивно простой является конструкция ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом, поэтому в качестве объектов исследования выбираем именно эту конструкцию. Отметим, что в большинстве случаев теоретические исследования были посвящены именно этой конструкции, что объясняется тем, что она наиболее простая и ее для расчетов выбирают в качестве базовой, полагая, что расчет других конструкций ПРВП будет использовать фрагменты расчета ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом.

Известно [2], что на значения эксплуатационных параметров ПРВП наибольшее влияние оказывает точность изготовления резьбовых деталей этих передач, но количество исследований, посвященных определению этого влияния, неоправданно мало. Поэтому планируемое исследование посвящено определению связей между точностью изготовления резьбовых (винта, роликов и гайки) деталей ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом на величины эксплуатационных параметров передачи.

Определим, какие эксплуатационные параметры ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом будем исследовать в рамках планируемого исследования.

**Эксплуатационные параметры ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом.** Первым эксплуатационным параметром, характеризующим точность ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом, является кинематическая погрешность, которую планируем исследовать статистико-вероятностными методами. Следует отметить, что при наличии опытного образца можно выполнить эксперимент и сравнить его результаты с теоретическими, полученными статистико-вероятностными методами.

Вторым эксплуатационным параметром примем жесткость, под которой понимается отношение действующей на передачу осевой силы, приложенной к гайке в сборе, к ее осевому перемещению относительно винта при условии, что винт не проворачивается. Этот параметр дополняет кинематическую погрешность, которая исследуется без нагрузки, и определяет точность работающей под нагрузкой передачи.

По аналогии с подшипниками качения нагрузочную способность РВМ принято оценивать по статической и динамической грузоподъемностям, которые представлены в каталогах для ПРВП разных конструкций [2, 7]. Статическая грузоподъемность ПРВМ — это допускаемая статическая нагрузка, которую будем считать третьим эксплуатационным параметром.

В качестве четвертого эксплуатационного параметра выберем динамическую грузоподъемность, которая связана с ресурсом и определяет долговечность и надежность передачи.

Возможно, при проведении исследований этот список пополнится еще одним эксплуатационным параметром.

Цель дальнейшей работы — получить функциональные связи точности изготовления важнейших деталей ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом с работой этих передач, зная которые можно прогнозировать их эксплуатационные параметры на стадии разработки расчетно-конструкторской документации или после метрологического контроля параметров точности деталей передачи. Возможно обратное — зная требуемые эксплуатационные параметры ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом, назначать точность изготовления ее важнейших деталей.

В дальнейшей работе предполагается широко использовать статистико-вероятностные методы исследования, метод имитационного моделирования, методы теории упругости и деталей машин.

**Выводы.** Планетарные роликвинтовые передачи являются самыми перспективными преобразователями вращательного движения в поступательное, поэтому их исследования и расчеты являются актуальными.

В статье на основе обзора конструкций ПРВП разработан их классификатор. На основе анализа конструкций, представленных в классификаторе, выбран объект исследования — это ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом.

Ставится задача по определению связей между точностью изготовления деталей ПРВП с длинным винтом и осевым люфтом и эксплуатационными параметрами, которые могут обеспечить указанные передачи. Это позволит по допускам на размеры деталей на их чертежах прогнозировать эксплуатационные характеристики передачи.

## Литература

- [1] [Ряховский О.А., ред. *Детали машин. Учебник.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 472 с.
- [2] Блинов Д.С. *Винтовые передачи линейных приводов.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021, 199 с.
- [3] Козырев В.В. *Конструкции роликовинтовых передач и методика их проектирования.* Владимир, Владимир. гос. ун-т, 2004, 100 с.
- [4] Блинов Д.С. *Разработка научно-методических основ расчета и проектирования планетарных роликовинтовых механизмов, имеющих многочисленные избыточные связи.* Дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2007, 373 с.
- [5] Морозов М.И. *Метод определения рациональных параметров силовых безгаечных ролико-винтовых механизмов.* Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2018, 155 с.
- [6] Носов А.С. *Повышение нагрузочной способности и ресурса безззорных планетарных роликовинтовых механизмов конструктивными методами.* Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2019, 178 с.
- [7] *SKF roller screws.* SKF, Printed in France, 2008, 88 p.

**Поступила в редакцию 03.04.2025**

**Пугачевский Дмитрий Николаевич** — аспирант кафедры «Основы конструирования машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Д.С. Блинов, доктор технических наук, профессор кафедры «Основы конструирования машин», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация. E-mail: dmitriyblinov@mail.ru

**Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:**

Пугачевский Д.Н. Разработка классификатора роликовинтовых передач и выбор объекта исследования. *Политехнический молодежный журнал*, 2025, № 05 (100). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/menms/machsci/1070.html>

## DEVELOPMENT OF A ROLLER GEAR CLASSIFIER AND SELECTION OF A RESEARCH OBJECT

D.N. Pugachevsky

dpugachevsky@yandex.ru

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation*

Planetary roller screw transmissions are the most promising converters of rotational to translational motion. PRVP studies are relevant, which determine the relationship between the manufacturing accuracy of the screw, rollers and nuts of the PRVP with its operational parameters. These relationships are planned to be determined by statistical and probabilistic methods using simulation modeling methods. Among the operational parameters, it is planned to investigate the kinematic error, rigidity, static load capacity and dynamic load capacity of the PRVP. The object of the study is a PRVP with a long screw and axial backlash.

**Keywords:** planetary roller gear, roller, screw, nut, operational parameters

*Received 03.04.2025*

**Pugachevsky D.N.** — Postgraduate student, Department of Fundamentals of Machine Design, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — Blinov D.S., Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Fundamentals of Machine Design, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation. E-mail: dmitriyblinov@mail.ru

### **Please cite this article in English as:**

Pugachevsky D.N. Development of a roller gear classifier and selection of a research object. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal*, 2025, no. 05 (100). (In Russ.). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/menms/machsci/1070.html>