

ПЕРЕДАЧИ ВИНТ-ГАЙКА

Во многих приводах машин и оборудования используется преобразование вращательного движения в поступательное. Это относится к таким распространенным приводам, как приводы подач станков и роботов, измерительных машин, сканирующих столиков, регулировки клапанов и задвижек, различных мехатронных устройств и т.д. Требуемые линейные перемещения – от миллиметров до десятков метров, усилия – от единиц ньютонов до тысяч килоньютонов. Допуски на кинематические погрешности могут выражаться единицами микрометров, а требуемая разрешающая способность шагового привода ограничиваться сотыми долями микрометров.

Для преобразования вращательного движения в поступательное наиболее широко используются передачи винт-гайка. Передачи винт-гайка являются изделиями общемашиностроительного применения, и их качество непосредственно сказывается на качестве машин и оборудования, в состав которых они входят.

Передача винт-гайка (рис. 1) состоит из винта 1 и гайки 2, соприкасающихся винтовыми поверхностями.

Передача винт-гайка предназначена для преобразования вращательного движения в поступательное (при больших углах подъема винтовой линии, порядка $> 12^\circ$). При этом вращение закрепленной от осевых перемещений гайки вызывает поступательное перемещение винта, или вращение закрепленного от осевых перемещений винта приводит к поступательному перемещению гайки. Когда угол подъема больше угла трения, эту передачу можно использовать для преобразования поступательного движения во вращательное.

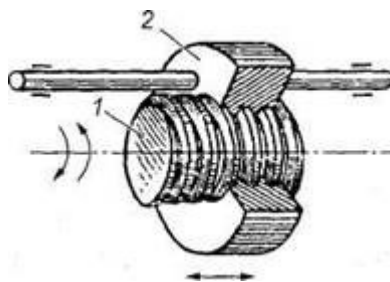


Рис. 1 – Передача винт-гайка

Различают два типа передач винт-гайка:

- передачи трения скольжения или винтовые пары трения скольжения (рис. 1-3);
- передачи трения качения или шариковинтовые пары (рис. 4) Ведущим элементом в передаче, как правило, является винт, ведомым – гайка. В передачах винт-гайка качения на винте и в гайке выполнены винтовые канавки (резьба) полукруглого профиля, служащие дорожками качения для шариков.

Конструктивно передача винт-гайка может быть выполнена:

- передачи с вращающимся винтом и ведомой, поступательно перемещающейся гайкой (наиболее распространенное исполнение) (рис. 1). Такая схема обычно используется в силовых передачах при больших перемещениях (например, роботы, механизмы изменения стреловидности крыла);

- с вращающимся и одновременно поступательно перемещающимся винтом при неподвижной гайке (простые домкраты) (рис. 2);

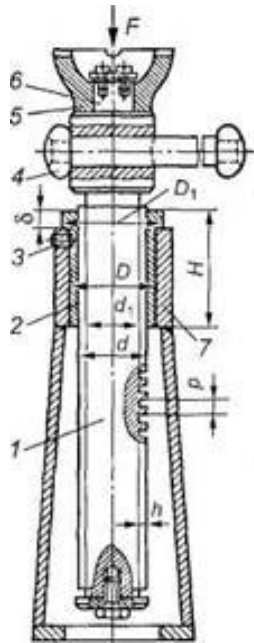


Рис. 2 – Винтовой домкрат: 1 — винт; 2 — гайка; 3 — стопорный винт; 4 — рукоятка; 5 — чашка домкрата; 6 — шип, 7 — корпус

- передачи с вращающейся гайкой и ведомым поступательно перемещающимся винтом. Такие передачи применяются при небольших перемещениях и значительных осевых нагрузках (например, в механизмах управления стабилизаторами летательных аппаратов) (рис. 3).

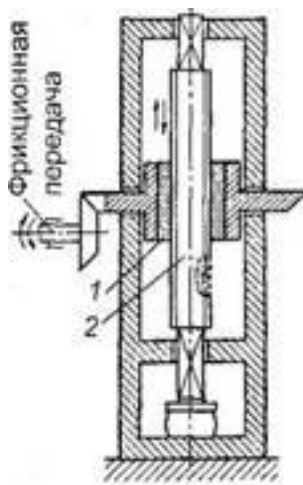


Рис. 3 – Передача винт-гайка: 1 — гайка; 2 — винт

- дифференциальная винтовая передача, которая состоит из винта с двумя участками резьбы разных шагов (P_1 и P_2), но одного направления (рис. 3.3). При вращении винта 1 гайка 2 совершает два поступательных движения: относительно винта 1 и вместе с винтом 1 относительно стойки 3.

Полное поступательное перемещение гайки 2 относительно стойки 3 пропорционально разности шагов ($P_1 - P_2$).

$$S_2 = \frac{\varphi_1 (P_1 - P_2)}{2\pi} \text{ мм.}$$

Следовательно, дифференциальная передача винт-гайка обеспечивает малые линейные перемещения.

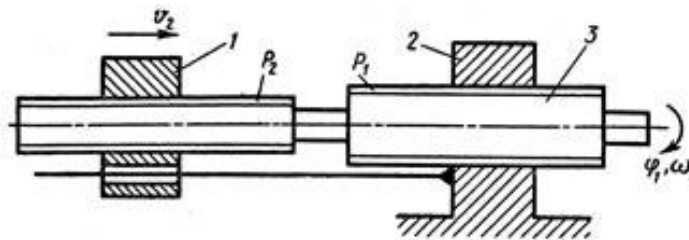


Рис.3.3 – Схема винтовой дифференциальной передачи

- интегральная винтовая передача. Она устроена аналогично дифференциальной, но имеет различные направления резьбы на участках винта. Здесь осевое перемещение гайки относительно стойки пропорционально сумме шагов ($P_1 + P_2$).

$$S_2 = \frac{\varphi_1 (P_1 + P_2)}{2\pi} \text{ мм.}$$

При небольшом угле поворота винта интегральная передача обеспечивает увеличение осевого перемещения гайки.

- несоосная винтовая передача (рис. 3.4). Она состоит из винта 1, гайки 2, свободно вращающейся в подшипниках 3, нагружение кольца которых установлены в корпусе 4. Корпус 4 в осевом направлении перемещается вместе с гайкой 2.

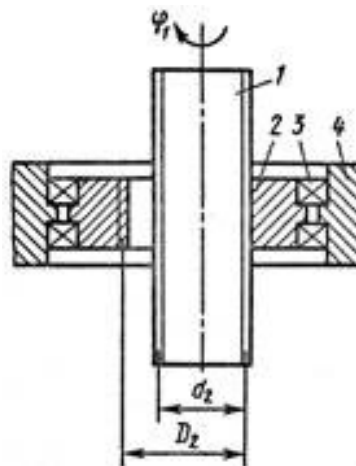


Рис.3.4 – Интегральная винтовая передача

В зависимости от назначения передачи винты бывают:

- **грузовые**, применяемые для создания больших осевых сил. При знакопеременной нагрузке имеют трапецеидальную резьбу, при большой односторонней нагрузке — упорную. Гайки грузовых винтов цельные. В домкратах (рис. 2) для большего выигрыша в силе и обеспечения самоторможения применяют однозаходную резьбу с малым углом подъема;

- **ходовые**, применяемые для перемещений в механизмах подачи. Для снижения потерь на трение применяют преимущественно трапецеидальную многозаходную резьбу.

- **установочные**, применяемые для точных перемещений и регулировок. Имеют метрическую резьбу. Для обеспечения безлюфтовой передачи гайки делают сдвоенными.

Большое внимание в винтовых передачах, применяемых в металлорежущих станках и приборах, уделяют устранению мертвого хода, возникающего при изменении направления движения. Наличие мертвого хода объясняется зазором в резьбе вследствие неизбежных ошибок при изготовлении и износа в течение эксплуатации. Для устранения мертвого хода винтовые механизмы снабжают специальными устройствами. При этом различают два способа выборки зазора в резьбе - осевое, применяемое для трапецеидальных резьб и радиальное смещение гайки - для треугольных резьб. Первый способ достигается установкой двух раздвигаемых гаек, например, пружиной, второй - разрезной гайки, втягиваемой цанговым зажимом.

Основные показатели качества передач винт – гайка как составной части привода:

- диапазон выбора передаточного отношения;
- предельная частота вращения винта;
- статическая грузоподъемность;
- динамическая грузоподъемность и долговечность;
- приведенный момент инерции;
- жесткость;
- кинематическая точность;
- силы трения и КПД.

Достоинства и недостатки передачи “винт-гайка”

Достоинства и недостатки передачи винт-гайка скольжения

Основные достоинства:

- возможность получения большого выигрыша в силе;
- высокая точность перемещения и возможность получения медленного движения;
- плавность и бесшумность работы;
- большая несущая способность при малых габаритных размерах;
- простота конструкции.

Недостатки передач винт-гайка скольжения:

- большие потери на трение и низкий КПД;
- затруднительность применения при больших частотах вращения.

Достоинства и недостатки шариковинтовой передачи

Основные достоинства:

- малые потери на трение. КПД передачи достигает 0,9 и выше (сборка без предварительного натяга);
- высокая несущая способность при малых габаритах;
- низкий приведенный коэффициент трения покоя и высокая кинематическая чувствительность (возможность получения малых и точных перемещений);
- отсутствие осевого и радиального зазоров (то есть мертвого хода);
- надежная работа в широком диапазоне температур в вакууме;
- малый износ рабочих поверхностей винта и гайки, обеспечивающий высокую точность и равномерность поступательного движения;
- высокий ресурс.

Недостатки:

- требование высокой точности изготовления, сложность конструкции гайки;
- относительная сложность и трудоемкость изготовления (особенно операции шлифования специального профиля резьбы гайки и ходового винта);
- требование хорошей защиты передачи от загрязнений.

Применение передачи “винт-гайка”

Наиболее характерными областями применения передачи винт-гайка являются:

- поднятие грузов (домкраты);
- нагружение в испытательных машинах;
- осуществление рабочего процесса в станках (винтовые процессы);
- управление оперением самолетов (закрылки, руки направления и высоты, механизмы выпуска шасси и изменения стреловидности крыла);
- перемещение рабочих органов робота;
- точные делительные перемещения (в измерительных механизмах и станках).

В шариковинтовых передачах при вращении винта шарики вовлекаются в движение по винтовым канавкам (рис. 4), поступательно перемещают гайку и через перепускной канал возвращаются обратно. Перепускной канал выполняют между соседними или между первым и последним (рис. 4) витками гайки. Таким образом, перемещение шариков происходит по замкнутой внутри гайки траектории.

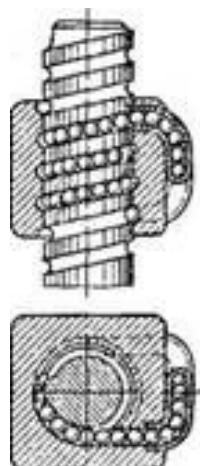


Рис. 4 – Передача винт-гайка с трением качения

В станкостроении применяют трехвитковые гайки. Перепускной канал выполняют в специальном вкладыше, который вставляют в овальное окно гайки. В трехвитковой гайке предусматривают три вкладыша, расположенные под углом 120° один к другому и смещенные до длины гайки на один шаг резьбы по отношению друг к другу. Таким образом, шарики в гайке разделены на три (по числу рабочих витков) независимые группы. При работе передачи шарики, пройдя по винтовой канавке на винте путь, равный длине одного витка, выкатываются из резьбы в перепускной канал вкладыша и возвращаются обратно в исходное положение на тот же виток гайки.

Шариковинтовые передачи выполняют с одной или чаще с двумя гайками, установленными в одном корпусе. В конструкциях с двумя гайками наиболее просто исключить осевой зазор в сопряжении винт-гайка и тем самым повысить осевую жесткость передачи и точность перемещения. Устраняют осевой зазор и создают предварительный натяг путем относительного осевого (например, с помощью прокладок) или углового смещения двух гаек.

Наибольшее распространение получил полукруглый профиль канавок с радиусом, превышающим на $3...5\%$ радиус шариков, и с углом контакта $\alpha = 45^\circ$ (рис. 4.1, а).

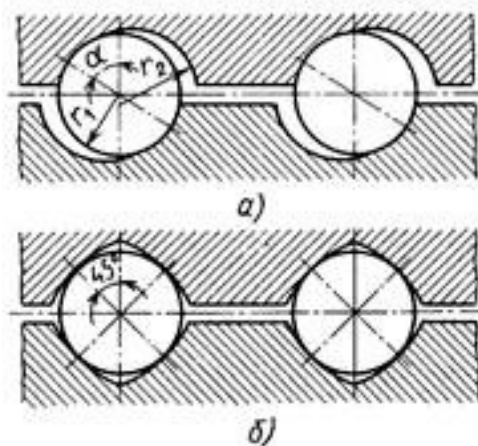


Рис.4.1 – Профиль канавок передачи винт-гайка качения

Успешно применяют также профиль «стрельчатая арка» (рис. 4.1, б), который сложнее в изготовлении, но позволяет создать предварительный натяг подбором диаметров шариков.

В станкостроении шариковинтовые передачи изготавливают централизованно по ОСТ 1-1-72-6-81 под нагрузку от 9 до 90 кН (0,9...9,0 т).

Прямолинейный профиль резьбы (треугольный, трапециевидный) является наиболее технологичным, но значительно уступает по нагрузочной способности криволинейному (так допускаемая нагрузка на шарик, находящийся в желобе с профилем в виде дуги окружности, более чем в три раза выше допускаемой нагрузки на шарик, лежащий на плоской поверхности треугольного или трапецидального профиля). Поэтому прямолинейный профиль резьбы применяют в шариковинтовой передаче для восприятия небольших осевых нагрузок в приборах.

На рис. 4.2 показан шариковинтовой механизм, применяемый в узле изменения стреловидности крыла сверхзвукового самолета. Движение к вращающемуся винту 6 передается от конического редуктора через зубчатую цилиндрическую передачу 2, понижающую частоту вращения винта. С помощью винтовой резьбы и шариков 4 вращение винта преобразуется в поступательное перемещение гайки 5. Непрерывность циркуляции шариков обеспечивается перепускным каналом 3, выполненным в гайке. Узлом крепления 7 гайка связана с крылом самолета. Винт в корпусе ШВМ 1 фиксируется радиальными 9 и радиально-упорными 10 шарикоподшипниками. Для предохранения пары винт-гайка от загрязнения в конструкции ШВМ предусмотрен защитный кожух 8.

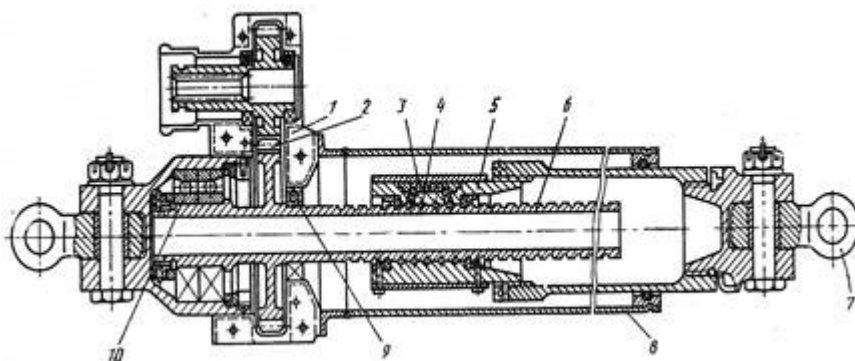


Рис.4.2 – Шарико-винтовой механизм привода изменения стреловидности крыла самолета

РОЛИКОВИНТОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Постоянно растущие требования к передачам винт-гайка со стороны привода выявили определенные ограничения шариковинтовых передач, в частности по редукции, предельной скорости, жесткости, долговечности и грузоподъемности.

В связи с этим в качестве альтернативы шариковинтовым передачам стали появляться другие виды передач винт-гайка.

В середине 40-х годов появились несоосные передачи (рис.5). Несоосная (эксцентриковая) передача состоит из винта и сопряженной с ним гайки, у которой средний диаметр резьбы больше среднего диаметра резьбы винта и которая установлена на подшипниках 2 в корпусе 4. Оси винта и гайки не совпадают. Если обе оси неподвижны, а углы подъема резьб на винте и гайке неодинаковы, то при вращении винта гайка вращается в подшипниках и одновременно вместе с корпусом перемещается в осевом направлении. Описание различных конструкций несоосных передач дано в работе. Основным недостатком несоосной передачи – неуравновешенность момента пары сил в резьбовом сопряжении. Этот момент изгибает винт и дополнительно нагружает подшипники. Ввиду малой несущей способности и малой жесткости несоосные передачи не получили широкого применения.

Известны конструкции передач винт-гайка, которые отличаются от шариковинтовых передач использованием гладких роликов в качестве промежуточных тел качения.

Для оценки уровня качества известных роликовинтовых передач целесообразно принять в качестве базового изделия широко применяемую шариковинтовую передачу.

Диапазон выбора стабильного передаточного отношения шариковинтовых передач узок. Обычно величины перемещения гаек за оборот винта составляют 5, 10, 20 мм. Для возможности выбора оптимального передаточного отношения необходимо расширение этого диапазона. Известные роликовинтовые передачи с заданным скольжением роликов вдоль витков резьбы винта обеспечивают расширение диапазона выбора передаточного отношения, но отличаются дополнительным трением скольжения, низким КПД, низкой плавностью работы.

Высокая предельная частота вращения винта роликовинтовых передач по сравнению с шариковинтовыми передачами позволяет повысить производительность машин и оборудования на базе роликовинтовых передач.

Статическая и динамическая грузоподъемность роликовинтовых передач выше, чем шариковинтовых, но увеличение нагрузок, скоростей и ускорений проектируемых машин и оборудования требует дальнейшего повышения статической и динамической грузоподъемности передач.

Приведенные моменты инерции шариковинтовых передач и передач с короткими роликами при одинаковых диаметрах винтов практически не отличаются. При одинаковой грузоподъемности приведенный момент инерции передачи с короткими роликами меньше приведенного момента инерции шариковинтовой передачи. Стремление уменьшить время разгона и торможения привода требует дальнейшего уменьшения приведенного момента инерции передач, в особенности в приводах с малоинерционными двигателями.

Жесткость роликовинтовых передач выше жесткости шариковинтовых передач, но требования к передаче как динамическому звену следящего привода обуславливают поиск новых возможностей повышения жесткости и снижения момента инерции передач.

При одинаковых классах точности резьб кинематические точности шариковинтовых и роликовинтовых передач практически не отличаются. Недостаток шариковинтовых передач – в возникновении импульсов при входе шариков в канал возврата и выходе из него. При этом может нарушаться плавность работы передачи. Для получения высокой разрешающей способности, чувствительности приводов линейных перемещений необходима разработка передач с высокой редукцией и плавностью работы.

Роликовинтовые передачи, так же, как и шариковинтовые передачи, относятся к передачам смешанного трения: трения качения и трения скольжения.

КПД роликовинтовых передач без натяга гаек и при малой нагрузке ниже КПД шариковинтовых передач. Однако при натяге или значительной нагрузке в шариковинтовых передачах без сепараторных шариков возникает существенное трение в точках контакта соседних шариков из-за разных направлений окружных скоростей соседних шариков в точках контактов, а также существенное трение в канале возврата шариков. Кроме этого, при значительной нагрузке шариковинтовых передач пятна контактов в резьбовых сопряжениях из-за более тесного контакта и из-за меньшего числа точек контактов получаются большими по размеру, чем в роликовинтовых передачах, что ведет к увеличению момента сил трения. Поэтому при натяге или существенной нагрузке различие КПД шариковинтовых и роликовинтовых передач уменьшается. Требования снижения энергозатрат и повышения плавности работы побуждают к поискам путей уменьшения сил трения в передачах.

Таким образом, требования к передачам в составе привода оказываются существенно выше, чем возможности шариковинтовых передач и передач с короткими роликами типа SR, SV.

Отличительной особенностью рассматриваемых нами роликовинтовых передач является использование в качестве промежуточных тел качения резьбовых роликов, которые расположены в пространстве между винтом и гайкой или установлены в водиле. Резьбовой ролик с треугольной резьбой выпуклого профиля (рис.6) при угле профиля $2\alpha=\pi/2$ имеет с винтом или гайкой сопряжение, аналогичное сопряжению с винтом или гайкой шариков, диаметр D которых на 40% больше среднего диаметра резьбы роликов, а их число равно числу витков резьбы ролика.

Роликовинтовая передача, так же, как и шариковинтовая, относится к многопоточным передачам, в резьбовых сопряжениях которых усилие передается через большое число параллельно нагруженных точек контактов.

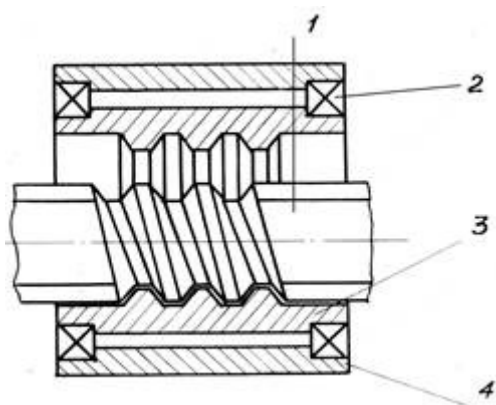


Рис. 5 – Несоосная передача: 1 – винт; 2- подшипники; 3 – гайка; 4 – корпус

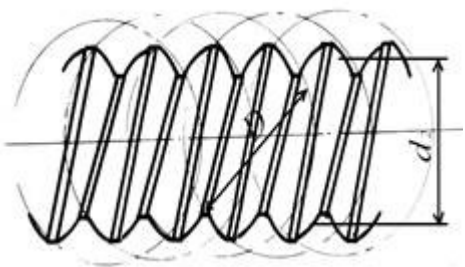


Рис. 6 – Резьбовой ролик: d_2 – средний диаметр резьбы; D_w – приведенный диаметр резьбы