

УДК 621.833.389
СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ПЕРЕДАВАЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ЧЕРВЯЧНЫХ
ЗАЦЕПЛЕНИЯХ

Н. И. РОГАЧЕВСКИЙ, А. Д. БУЖИНСКИЙ
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилёв, Беларусь

Республика Беларусь бедна источниками энергии, поэтому особую актуальность в стране приобретает энергосбережение. Энергосберегающие технологии обеспечиваются рабочими органами машин, приводимыми двигателями посредством передаточных механизмов, которые должны обладать высокими значениями одного из основных энергетических качественных показателей – КПД. До последнего времени этому показателю наиболее полно соответствовали цилиндрические и конические зубчатые передачи. Однако их собирают, как правило, в двух-, трехступенчатые редукторы с целью реализации требуемых передаточных чисел. В результате получают массивные (металлоемкие) передаточные механизмы, устанавливаемые на машинах и технологическом оборудовании, что неэффективно. Поэтому в изделиях машиностроения широко применяются компактные (с низкой металлоемкостью) червячные передачи. Например, в СССР в конце прошлого века ежегодно выпускалось около 420 тысяч червячных редукторов. Такая значительная потребность обусловлена также широким диапазоном передаточных чисел ($i = 8 \dots 80$), высокой кинематической точностью, бесшумностью, компоновочными и монтажными многообразиями. Однако эти достоинства проявляются в полной мере лишь при соблюдении достаточной точности зацепления, обусловленной не только высокой точностью деталей передачи, но и величинами погрешностей их взаимного расположения, которые регламентированы более жестко чем в передачах с цилиндрическими и коническими зубчатыми колесами.

Другим, более существенным, недостатком червячных передач является низкий КПД, обусловленный геометрией и кинематикой зацепления, из-за невозможности обеспечения гарантированного жидкостного трения в контакте витков червяка с зубьями колеса. Главными причинами этого недостатка являются скольжение рабочей поверхности червяка по зубьям колеса и неблагоприятное направление линий контакта относительно вектора скорости скольжения (угол между ними $\gamma = 40 \dots 50^\circ$ значительно отличается от 90° , при котором создаются наилучшие условия для смазки).

Низкий КПД червячной передачи свидетельствует о превращении значительной части (до 20...40 %) передаваемой энергии в теплоту. Вызванное этим повышение температуры ухудшает защитные свойства масляного слоя в контакте, увеличивает износ, опасность заедания и выхода

передачи из строя. Для предотвращения этого применяют оребренные корпуса червячных редукторов и их обдув, дорогие цветные антифрикционные металлы для изготовления венцов колес, дорогие противозадирные масла, что, наряду с потерями энергии, также неэффективно. Поэтому их применение ограничивается областью низких и средних мощностей (до 50 ... 60 кВт) при периодической, кратковременной работе.

Стремление к увеличению угла γ между направлением линий контакта звеньев относительно вектора скорости скольжения привело к созданию передачи с вогнутым профилем витков цилиндрического червяка, глобоидных червячных передач, модифицированных глобоидных и цилиндрических червячных передач. При точном изготовлении потери на трение в этих передачах значительно меньше, а несущая способность около полутора раз больше, чем в передачах с обычными цилиндрическими червяками. Технология изготовления и сборки указанных передач гораздо сложнее, требуются более дорогой комплект инструментов, а также специальное оборудование. Поэтому эти передачи не нашли широкого применения.

Повысить технический уровень передач можно с использованием новых зацеплений. Например, в Германии создана конструкция червячной передачи, содержащая червяк в виде набора колец, на каждом из которых перпендикулярно оси на цилиндрической поверхности установлены штифты. Червячное колесо на рабочей поверхности имеет установленные под некоторым углом к своей оси пластины, образующие зубья. Набор колец червяка зафиксирован на ведущем валу. При работе передачи штифты касаются пластин и производят поворот колеса.

В Польше и Англии запатентована передача, в которой в качестве червяка используется винтовая пружина. Ее витки намотаны на вал, а концы пружины закреплены на бобышках вала. При работе передачи витки пружины скользят по зубьям колеса и производят его поворот.

Дальневосточным внедренческим центром «ВИТ» (Россия) разработаны червячные передачи, содержащие червячные колеса и червяки в виде витой цилиндрической пружины, ось которой изогнута и образует прямой угол. Сопрягаются в передаче выпуклые поверхности пружины с вогнутыми впадинами между зубьями червячного колеса, при этом достигается снижение контактных напряжений в сопряжениях и улучшается смазка.

Появление новых зацеплений также привело к созданию оригинальных червячных передач с промежуточными телами качения в зацеплениях. При этом промежуточные тела по виткам червяка перекатываются, а по рабочим поверхностям колеса могут скользить, но так, что угол между контактными линиями и вектором скорости скольжения равен 90° . Одна из таких передач разработана в Китае. В этой передаче вместо зубьев червячного колеса установлены вращающиеся конические ролики.

Дальнейшее развитие червячных передач достигнуто путём замены

скольжения червяка по зубьям колеса качением по ним промежуточных тел. Например, российскими учеными созданы шариковые червячные передачи, содержащие червяк, червячное колесо, шарики, размещенные в зоне их зацепления, узел предохраняющий шарики от выпадания с каналом возврата шариков. Условием нормальной работы шариковых червячных передач является наличие высокоточных с большой твердостью беговых дорожек на витках червяка и зубьях колеса. Это приводит к повышению трудоемкости изготовления и значительным затратам на производство этих деталей. Чтобы избавиться от этого недостатка целесообразно использовать сравнительно дешевые стандартные подшипники качения.

С целью дальнейшего повышения КПД принцип качения также используется Бернюковым П.Е. в конструкции передачи, содержащей червячное колесо в виде вала с закрепленными на нем двумя кольцеобразными дисками, червяк, взаимодействующий с червячным колесом посредством роликоподшипников. Оси роликоподшипников расположены перпендикулярно относительно осевой линии вала червяка и закреплены на нем жестко, а зубья червячного колеса выполнены в виде пластин, установленных между двумя кольцеобразными дисками с возможностью взаимодействия с подшипниками. Недостатками последней передачи являются наличие геометрического трения в сопряжениях роликов с пластинами колеса, низкая кинематическая точность и плавность работы.

С целью устранения указанных недостатков червячных передач в Белорусско-Российском университете разработаны и исследуются червячные передачи качения. К ним относятся пружинно-пальцевые и винтовые пальцевые передачи. В этих передаточных механизмах отсутствует причина, вызывающая значительные потери, так как в зацеплениях скольжение заменено качением. Они по принципу работы схожи с червячными, но имеют существенное отличие – отсутствие обычных червяка и червячного колеса. Вместо червяка здесь используется закреплённая на ведущем валу витая пружина или винт с прямоугольной или трапецеидальной резьбой, а вместо червячного колеса применяется диск либо с установленными в нем в подшипниках пальцами, либо с жестко закрепленными в нем пальцами, на которых установлены подшипники. При работе таких передач в зацеплениях наблюдается трение качения. Замена трения скольжения в зацеплениях на трение качения позволила снизить энергетические потери до 4...6 % (при $u = 30...40$).

С целью снижения числа тел качения (подшипников, пальцев) в Белорусско-Российском университете также разработана передача, состоящая из червячного колеса в виде диска с поднутренными эвольвентными зубьями, нарезанными стандартным зуборезным инструментом, и червяка, представляющего собой вал с жестко закрепленными на нем посредством пальцев (винтов) промежуточными телами качения (подшипниками качения). Передача содержит в полтора раза меньшее число тел качения

(подшипников), чем обычная передача качения при реализации того же передаточного отношения. Недостатком этой передачи является ее низкая нагрузочная способность, обусловленная малой изгибной прочностью пальцев (винтов), крепящих подшипники качения.

С целью устранения недостатка последней передачи качения и основного недостатка (низкого КПД) традиционных червячных передач, авторами предложена торцовая червячная передача, представленная на рис. 1.

Передача содержит червячное колесо 1, которое выполнено в виде прямозубого эвольвентного колеса. Зубчатый венец 3 снабжен поднутрением, то есть толщина центральной части 2 эвольвентного колеса 1 меньше ширины его зубчатого венца 3. В результате такого поднутрения зубья на торце червячного колеса 1 образованы консольными участками 4 эвольвентных зубьев венца 3. Передача содержит также червяк 5 с прямоугольным профилем витков 6. Геометрическая ось червяка 5 смещена относительно торца червячного колеса 1 таким образом, что ее проекция на этот торец является касательной к делительной окружности зубьев.

Образующими боковых поверхностей прямого зуба червячного колеса и витка червяка являются прямые линии, которые при работе передачи совпадают на делительном цилиндре колеса, образуя линию контакта зуба и витка, перпендикулярную вектору скорости их скольжения, что является идеальным случаем для образования жидкостного трения и приводит к повышению КПД передачи. При зацеплении головки или ножки зуба с витком червяка расположение линии контакта незначительно отличается от 90° к вектору скорости скольжения и практически не оказывает влияния на КПД. Таким образом, в конструкции созданной червячной передачи устранена причина, вызывающая значительные потери. Поэтому она обладает высоким КПД.

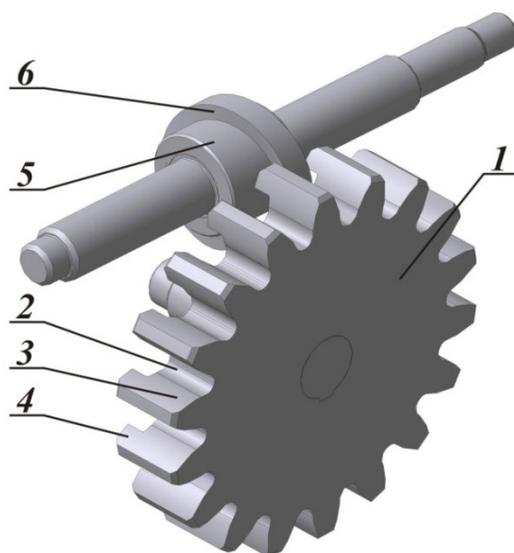


Рис. 1. Торцовая червячная передача