

УДК 62-2

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ЭПИЦИКЛОИДЫ И ГИПОЦИКЛОИДЫ

© 2011 г.

Н.В. Леонтьев¹, О.Г. Мугин², О.О. Мугин²

¹Нижегородский филиал Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

²Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва

nleontiev@pochta.nn.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Рассмотрены новые механические передачи (редукторы и мультипликаторы), которые создаются на основе использования свойств плоских кривых (эпициклоид и гипоциклоид) и по сравнению с традиционными зубчатыми передачами обладают уменьшенными объемами и габаритами, меньшей массой, повышенной несущей способностью и долговечностью вследствие многоконтактности зацепления. Идея конструкции этих передач заключается в обкатывании роликами специально профилированных поверхностей двух тел. Передачи позволяют получить максимальное передаточное отношение в одной ступени до 500. Коэффициент полезного действия таких редукторов составляет 85–97%, и они выдерживают пятикратные перегрузки.

Ключевые слова: редукторы, мультипликаторы, многоконтактность зацепления, передаточное отношение.

На протяжении всей истории редукторо- и приводостроения производились в основном классические зубчатые редукторы: цилиндрические, конические, планетарные, червячные, волновые и различные комбинации этих схем. В основе конструкции таких редукторов и мультипликаторов лежит точечный контакт между взаимодействующими телами через зубья, представляемые в российской школе теории механизмов и машин как пары четвертого класса. Однако прогрессивным направлением считается геометрия поверхности зубьев зацепления, называемого зацеплением Новикова.

В последние годы широкое распространение получают так называемые планетарно-цевочные передачи как альтернативные традиционным зубчатым передачам [1]. Впервые подобную передачу запатентовал в 1931 году немецкий инженер Лоренц Брарен. Использование циклоидальных зацеплений предоставляет таким редукторам и мультипликаторам ряд преимуществ в сравнении с эвольвентным зацеплением. Эти передачи обладают по сравнению с зубчатыми уменьшенными объемами и габаритами, меньшей массой, повышенной несущей способностью и долговечностью вследствие многоконтактности зацепления. Идея конструкции этих передач заключается в обкатывании телами качения – роликами – специально профилированных поверхностей двух тел. Передачи позволяют получить максимальное передаточное отношение в одной ступени до 500. Коэффициент полезного действия таких редукто-

ров составляет 85–97%, и они выдерживают пятикратные перегрузки. Взаимодействие твердых тел, передающих движение от входного вала к выходному, происходит через подшипники качения.

Планетарно-цевочные редукторы получили распространение по всему миру. По информации основного японского производителя – корпорации SUMITOMO-CYCLO, применимость таких редукторов достигла 30% в США и 60% в Японии и Южной Корее. Они используются в робототехнике, станкостроении, химическом машиностроении, в грузоподъемных машинах, цепных конвейерах, радиолокаторах, экскаваторах и в буровом оборудовании. Важной эксплуатационной характеристикой передачи является пониженный уровень шума и вибраций.

Хотя термин «планетарно-цевочное зацепление» некоторым образом перекликается с термином «зубчатое зацепление», на наш взгляд, геометрия этих передач принципиально отличается от геометрии зубчатых зацеплений. Рассмотрим схему построения одной ступени такой передачи, отталкиваясь от уравнений циклоидальных кривых, записанных в параметрической форме. Для удобства дальнейших выкладок целесообразно воспользоваться векторной формой их записи в плоскости XU :

- выражение эпициклоиды

$$[(R + r) \cos \varphi - \lambda r \cos((R/r + 1)\varphi)]\mathbf{e}_1 +$$

$$+ [(R + r) \sin \varphi - \lambda r \sin((R/r + 1)\varphi)]\mathbf{e}_2,$$
- выражение гипоциклоиды

$$[(R - r) \cos \varphi + \lambda r \cos((R/r - 1)\varphi)] \mathbf{e}_1 + [(R - r) \sin \varphi + \lambda r \sin((R/r - 1)\varphi)] \mathbf{e}_2.$$

В приведенных формулах $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2$ – единичные векторы, сориентированные по осям X и Y соответственно; φ – угол поворота текущего вектора относительно оси X ; R – радиус неподвижного круга, r – радиус подвижного круга; $\lambda \leq 1$ – коэффициент укорочения эциклоиды или гипоциклоиды. Обозначим $R/r = n$. Задача построения механической передачи заключается в организации движения системы тел таким образом, чтобы быстрое вращение с углом $n\varphi$ входного эксцентрикового вала передалось через круглую цилиндрическую поверхность другому телу, которое взаимодействует с системой роликов, расположенных вокруг этого тела, и вращается с углом φ . В зависимости от расположения роликов это тело может быть выполнено в двух вариантах. Первый вариант носит название сепаратора, второй вариант – сателлита. Оси роликов равномерно распределены по углу φ по эциклоиде или гипоциклоиде. В случае сепаратора ролики закреплены на нем и их оси двигаются по эциклоиде при вращении с углом φ . Происходит их обкатка по неподвижной внешней профилированной поверхности. В случае сателлита ролики закреплены неподвижно и вращается с углом φ профилированный сателлит. Для понимания механики движения важно, что обкатывание роликов по неподвижной направляющей в случае сепаратора и обкатывание сателлита относительно неподвижных роликов с углом φ побуждается вращением эксцентрика с углом $n\varphi$. Число роликов должно быть равным $n + 1$ для эциклоиды и $n - 1$ для гипоциклоиды. Таким образом формируется относительное движение эксцентрикового вала и сепаратора (сателлита). Сепаратор (или сателлит) совершает сложное плоское движение. На вращение тела по φ вокруг оси вращения входного вала (точки O) накладывается плоскопараллельное поступательное движение, при котором каждая точка плоскости сепаратора (сателлита) двигается по окружности с радиусом λr с углом вращения $n\varphi$. Необходим механизм, который превратит движение сепаратора (сателлита) во вращение выходного вала по φ вокруг оси, соосной оси вращения входного вала (точки O). Определим, как происходит относительное движение произвольной точки A на сепараторе (сателлите) с радиусом $R_1 \leq R$ относительно положения точки O_1 на выходном валу, когда векторы \mathbf{R}_1 на сепараторе (сателлите) и на выходном валу находятся под одним углом φ . Вектор разности между точками A и O_1 равен $\lambda \mathbf{r} + \mathbf{R}_1 - \mathbf{R}_1 = \lambda \mathbf{r}$.

Определим косинус между вектором разности и вектором вала, вычислив скалярное произведение

$$\lambda \mathbf{r} \mathbf{R}_1 = \lambda r R_1 [\cos \varphi \cos((n + 1)\varphi) + \sin \varphi \sin((n + 1)\varphi)] = \lambda r R_1 \cos(n\varphi).$$

Таким образом, произвольная точка A на сепараторе (сателлите) n раз делает оборот вокруг точки O_1 выходного вала, что дает возможность разместить между сепаратором (сателлитом) и выходным валом произвольное число механизмов. Эти механизмы назовем эксцентриковыми.

На рис. 1 представлена общая схема передачи с подшипниками качения между всеми взаимодействующими в системе телами для случая сателлита. Входной вал опирается на подшипник качения 1. Эксцентрик входного вала и сателлит разделены подшипником качения 2. Оси и обоймы неподвижных роликов, по которым обкатывается сателлит, разделены подшипниками качения 3. Коленчатые оси соединяют кривошип сателлита и выходной вал. На сателлите закреплены оси эксцентриковых подшипников качения 4, на фланце выходного вала – оси на обычных подшипниках качения 5. Выходной вал, соосный с входным, опирается на подшипник качения 6. Таким образом, взаимные движения с редукцией или мультипликацией происходят только через подшипники качения. Это обстоятельство, как указывалось, обеспечивает высокий коэффициент полезного действия передачи.

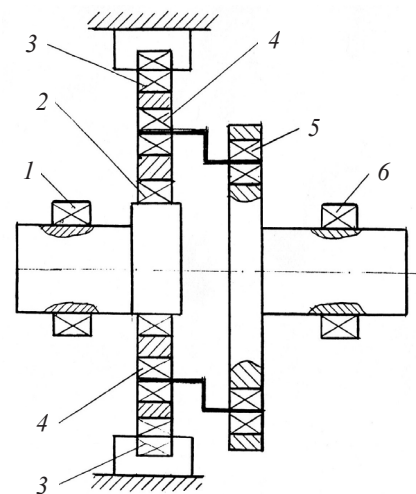


Рис. 1

Новая область теории механических передач требует более углубленных теоретических кинестатических исследований, а также экспериментальных исследований вновь создаваемых передач.

Рассмотренные механические передачи принципиально отличаются от обычных передач с зубчатыми зацеплениями.

На основе использования свойств рассмотренных плоских кривых – эпициклоиды и гипоциклоиды – создаются новые механические передачи (редукторы и мультипликаторы), обладающие меньшими размерами, пониженным уровнем

шума и высокими передаточными отношениями (до 500) в одной ступени.

Список литературы

1. Киреев С.О. Теоретические основы методов анализа и синтеза планетарных механизмов с внецентроидным цевочным зацеплением: Дис. ... доктора техн. наук. М.: ИМАШ РАН, 2003. 450 с.

MECHANICAL TRANSMISSIONS ON THE BASIS OF EPICYCLOID AND HYPOCYCLOID

N.V. Leontiev, O.G. Mugin, O.O. Mugin

New mechanical transmissions (reducers and step-up gearing) are considered that are based on using the properties of plane curves (epicycloids and hypocycloids) and, in comparison with traditional gearing transmissions, feature reduced volumes and dimensions, smaller weight, increased carrying capacity and durability due to multicontact linkage. The idea of constructing such transmissions consists in running by rollers of specially profiled surfaces of two bodies. The transmissions make it possible to receive the maximum transfer ratio in one step up to 500. The efficiency of such reducers equals 85–97 % and they endure fivefold overloads.

Keywords: reducer, step-up gearing, multicontact linkage, transfer ratio.