

А. М. ДАНЬКОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Могилев, Беларусь

В настоящее время известны и находят применение следующие разновидности плавнорегулируемых механических передач:

- фрикционные – клиноременный вариатор, усовершенствованный Ван-Доорном (в автомобильных трансмиссиях и трансмиссиях малогабаритных транспортных средств), торковый вариатор, выпускавшийся в Советском Союзе как вариатор Светозарова (в автомобильных трансмиссиях), импульсный вариатор (в трансмиссиях зерноуборочных комбайнов),
- зацеплением – цепной вариатор с пластинчатой цепью (в приводах технологического оборудования).

Стараниями фирм-изготовителей конструкция этих устройств доведена до совершенства. Тем не менее, представляется работоспособной и реализуемой концепция развития механических передач, заключающаяся в их функциональном совершенствовании (увеличении числа или изменении характера выполняемых функций) на основе принципа фрагментации.

Реализация принципа фрагментации применительно к механическим передачам выражается в представлении цельного элемента передачи в виде набора фрагментов и дает эффект, заключающийся в возможности:

- повышать ремонтпригодность элементов передач и собственно передач;
- осуществлять экономию дорогостоящих материалов;
- изготавливать крупногабаритные элементы с помощью оборудования для изготовления элементов небольших и средних размеров;
- устранять погрешности механической обработки элемента передачи простейшими средствами;
- обеспечивать в ряде случаев регулирование передачи в течение всего срока службы;
- изменять передаточное отношение передачи, для чего фрагменты элемента должны быть жестко связаны между собой и в то же время должны иметь возможность изменять свое положение относительно оси вращения элемента, так как только в этом случае возможно изменение преобразующей способности (передаточного отношения) передачи.

Изложенная концепция может быть принята только в том случае, если безусловно выполняется предположение, заключающееся в том, что при взаимодействии фрагментов элемента с другими элементами передачи не

происходит неизбежного в силу действия универсальных законов сохранения существенного ухудшения качества функционирования и уменьшения нагрузочной способности образованной таким образом передачи.

Принцип фрагментации, передающих движение элементов применительно к зубчатым передачам, позволил создать как дискретно-, так и плавнорегулируемую зубчатую передачи на основе составных полисекторных зубчатых колес, однако, положительно зарекомендовал себя пока еще только в условиях лабораторных испытаний. В процессе проведения исследований передач с составными полисекторными зубчатыми колесами установлено, что указанный принцип может быть распространен на ременные и цепные передачи с сохранением эффекта плавного регулирования передаточного отношения. Основные модификации составных полисекторных зубчатых колес достаточно полно описаны в технической литературе, а основы теории передачи с составным полисекторным зубчатым колесом в настоящее время, в основном, разработаны и, как показывает практика, могут быть в той или иной мере реализованы в передачах других видов. При этом необходимо подчеркнуть, что в механических передачах с гибкими тяговыми органами принцип фрагментации может быть распространен не только на шкивы и звездочки, но и на сами гибкие тяговые органы. Подтверждением этому служат широко известные ремни сжатия (предложенные Ван-Доорном) и гораздо менее известные цепи сжатия (предложенные Л.А. Борисенко), ограничений на использование которых в плавнорегулируемых передачах не существует. Диапазон регулирования передаточного отношения механических передач этого класса может быть доведен до 8.

Говоря о недостатках передач на базе составных элементов передачи движения, необходимо отметить следующее. Недостатки ременной и цепной плавнорегулируемых передач определяются, в первую очередь, несплошностью передающих движение элементов, особенно проявляющейся при передаточных отношениях, формирующих крайние значения диапазона регулирования. Эксплуатационные качества этих передач (особенно цепной) в некоторой степени будут определяться недостатком, присущим всем цепным передачам, – неравномерностью хода ведомой звездочки. Однако в плавнорегулируемых передачах этот недостаток усугубляется несплошностью ведущей и ведомой звездочек (шкивов). КПД плавнорегулируемой цепной передачи будет ниже КПД простой цепной передачи с двухрядной цепью вследствие диссипации передаваемой энергии в упругих соединениях секторов с траверсами.

КПД плавнорегулируемой фрикционной передачи с поликлиновым ремнем сжатия будет не ниже, чем у фрикционных передач других видов потому, что в ней, в отличие от вышеописанных плавнорегулируемых передач, отсутствует диссипация передаваемой энергии, связанная с необходимостью компенсировать изменения окружного шага секторов много-

ручьевых шкивов, в то время, как в других передачах необходима компенсация некратности окружного шага секторов зубчатых колес (звездочек) окружному шагу зубьев (шагу цепи) упругими смещениями элементов передач.

Неравномерность вращения ведомого шкива (ведомой звездочки), вызванную несплошностью шкивов (звездочек), наиболее просто определить при передаточном отношении передач, равном 1. Приняв за основу исследования кинематики цепных передач, найдем отношение максимальной  $V_{max}$  и минимальной  $V_{min}$  скорости гибкого тягового органа

$$\frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1}{\cos \frac{\theta}{2}},$$

где  $\theta$  – угловой шаг секторов звездочки (зубчатого колеса).

Вредное влияние колебаний ведущей ветви гибкого тягового органа, а также неравенства условного радиуса зубчатого колеса (звездочки) делительному радиусу соответствующего сектора должно служить объектом дальнейшего исследования псевдопланетарных передач.

Характерными же недостатками рядовой зубчатой плавнорегулируемой передачи являются, во-первых, необходимость использования для сохранения при регулировании передаточного отношения межосевого расстояния постоянным пары составных зубчатых колес, во-вторых, значительные габариты, определяемые размерами обеспечивающего передачу вращательного движения между составными зубчатыми колесами промежуточного зубчатого колеса, в-третьих, пониженный из-за большего числа зацеплений и диссипации энергии в промежуточном зубчатом колесе КПД и, в-четвертых, неизбежные погрешности передаточного отношения в каждом зацеплении, произвольно суммирующиеся на ведомом валу. Суммарная кинематическая погрешность  $\Delta F_{\Sigma}$  плавнорегулируемой зубчатой передачи может быть выражена зависимостью

$$\Delta F_{\Sigma} = \Delta F_1 + \Delta F_2 + \Delta F_3,$$

где  $\Delta F_1$  – составляющая суммарной кинематической погрешности, вызванная наличием непрямолинейных участков линии зацепления среднего зуба сектора с зубьями промежуточного колеса;  $\Delta F_2$  – составляющая суммарной кинематической погрешности, вызванная непостоянством положения прямолинейного участка линии зацепления среднего зуба сектора с зубьями промежуточного колеса;  $\Delta F_3$  – составляющая суммарной кинематической погрешности, обусловленная погрешностью положения профилей зубьев секторов, вызванной несовпадением условной начальной окружности составного колеса с начальной дугой сектора.

Таким образом, только в одном случае, когда линия зацепления среднего зуба сектора с зубьями промежуточного колеса проходит через абсолютный полюс зацепления, текущее значение  $i_t$  передаточного отношения

совпадает с номинальным  $i_n$ . Во всех остальных случаях как для внутреннего, так и для внешнего зацепления имеет место погрешность передаточного отношения.

Оценки погрешности передаточного отношения не превышают 3 % от его номинального значения при увеличении условного радиуса водила (вылета сектора) до величины, равной 2,5 делительного радиуса сектора.

Кажущееся обилие недостатков зубчатой передачи с составными зубчатыми колесами окупается никогда ранее не существовавшей возможностью плавно изменять ее передаточное отношение.

Стремление расширить диапазон регулирования рядовой зубчатой плавнорегулируемой передачи и конструктивно упростить силовую кинематическую цепь заставляет обратиться к конструкции передач, обладающих наибольшей преобразующей способностью – планетарным.

Необходимо отметить, что периодически на просторах СНГ делаются заявления о создании зубчатого вариатора, на практике представляющего собой различные модификации планетарных передач (профессор К. Иванов, С.А. Веденеев). Судя по отсутствию информации о практическом применении эти конструкции оказались далеки от идеала. Хотя не менее далекими от практического воплощения оказались и конструкции зубчатого вариатора на базе составных полисекторных зубчатых колес, они, по нашему мнению, представляется наиболее перспективными и удовлетворяющими требованиям к плавнорегулируемым передачам. Работы над ними ведутся на кафедре «Основы проектирования машин» университета при весомой поддержке Министерства образования Республики Беларусь. За основу планетарной плавнорегулируемой передачи была принята двухколесная эксцентриковая передача и авторским коллективом рассматривались две модификации зубчатой планетарной плавнорегулируемой передачи: с составным сателлитом и составным центральным зубчатым колесом. Вторая модификация, обладающая большим диапазоном регулирования передаточного отношения и большей конструктивной простотой, представляется наиболее перспективной и может быть рекомендована в качестве прототипа зубчатого вариатора самого различного функционального назначения.

Таким образом, в связи с совершенствованием трансмиссий транспортных средств и приводов технологического оборудования плавнорегулируемые механические (и прежде всего, зубчатые) передачи будут в обозримом будущем востребованы, так как только на их основе могут быть созданы плавнорегулируемые приводы и трансмиссии, способные служить альтернативой современным коробкам скоростей и плавнорегулируемому электроприводу. Это и обуславливает необходимость всесторонних исследований описанных плавнорегулируемых передач, направленных, прежде всего, на повышение КПД и кинематической точности, и создания более совершенных конструкций.