

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Поляков А.Н., Каменев С.В., Романенко К.С., Кузьменко Н.А.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Мехатронные системы охватывают большое разнообразие мехатронных модулей. Важнейшим компонентом любого мехатронного модуля является преобразователь движения. Важнейшей тенденцией в практике конструирования высокотехнологичных изделий современного производства: летательных аппаратов, современных станков с ЧПУ, энергетических установок, - является использование высокоточных редукторов и мотор-редукторов, представляющих собой один из видов мехатронных модулей. Их применение оказывает существенное влияние на обеспечение высоких выходных технико-экономических показателей всего изделия.

Наряду с распространёнными в промышленности цилиндрическими, цилиндро-коническими редукторами и мотор-редукторами все большую актуальность приобретают редукторы на базе планетарных, циклоидных, цевочных и волновых передач [1 - 6].

Применение данных редукторов объясняется сочетанием компактности, большой мощности, высокой точности, долговечности и надежности.

В настоящее время на кафедре технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов Оренбургского государственного университета проводятся исследования в области моделирования высокоточных редукторов с возможностью их последующего изготовления на имеющихся на кафедре станков с ЧПУ. В качестве первого типа таких редукторов был рассмотрен планетарно-цевочный редуктор.

Планетарно-цевочные редукторы позволяют достигать передаточных чисел для одной передачи до 191. Реализованное в них эпициклоидальное зацепление обладает большим КПД до 0,95. Одновременно в зацеплении участвуют до 50 % зубьев передачи, а в эвольвентном – не более четырех. Это безусловно способствует существенному повышению плавности хода, уменьшению нагрузок на зуб, возможности существенного роста нагрузочной способности редуктора, минимизации люфта. Удельная масса планетарно-цевочных редукторов с эпициклоидным зацеплением до семи раз меньше эвольвентных планетарных редукторов.

В планетарно-цевочном редукторе концентричное вращение входного вала с эксцентриком обеспечивает эксцентричное вращение установленных на этих эксцентриках сателлитов. Особенностью этого редуктора, помимо профиля зубьев, являются расположение цевки корпуса и условие обката сателлитов по данным цевкам – роль цевки в современных редукторах выполняют ролики. Выходной фланец, так же как и входной, совершает концентричное движение. В этом случае редуктор крепится к исполнительному звену мехатронного модуля. Во втором варианте исполнения такого типа редуктора – фланец остается неподвижным, а вращается корпус привода.

Исходя из кинематических условий эпициклоидального зацепления, сателлит всегда имеет число зубьев на единицу меньше, чем число зубьев роликов. Передаточное число редуктора равно числу зубьев сателлита.

Теоретические положения кинематического расчета данных редукторов были положены еще в XVII веке. Однако, в силу сложной кинематики таких передач эффективным способом их изучения является компьютерное моделирование с последующей печатью на устройстве быстрого прототипирования, например, на 3D принтере.

На рисунке 1 представлены разработанные 3D-модели всех компонентов планетарно-цевочного редуктора, выполненного в автоматизированной системе проектирования Siemens PLM Software NX. При проектировании данного редуктора следовало учесть две особенности. Первая обусловлена наличием эпициклоидального профиля колеса редуктора. Вторая связана с особенностями сопряжений элементов редуктора.

Эквидистанта к эпициклоиде описывает профиль эпициклоидального колеса. При этом в планетарно-цевочных редукторах может использоваться как укороченная, так и нормальная эпициклоида. В этом случае профиль эпициклоидального колеса редуктора (иногда называют «ротор») можно построить с использованием системы параметрических уравнений [7, 8]:

$$\begin{aligned} X(t) &= R \cdot \cos(t) - R_r \cdot \cos(t + \arctan(\sin((1-z) \cdot t) / (R/(e \cdot z) - \cos((1-z) \cdot t)))) - e \cdot \cos(z \cdot t), \\ Y(t) &= -R \cdot \sin(t) + R_r \cdot \sin(t + \arctan(\sin((1-z) \cdot t) / (R/(e \cdot z) - \cos((1-z) \cdot t)))) + e \cdot \sin(z \cdot t) \end{aligned} \quad (1)$$

где

$t \rightarrow 0, \dots, \pi$ - угол, рад; $X(t), Y(t)$ - координаты профиля ротора; R - радиус окружности ротора (т.е. радиус огибаемой окружности); e - величина эксцентриситета (в данном случае она равна радиусу огибающей окружности); R_r - радиус цевки или ролика; z - число цевок

Использование САД-систем верхнего уровня позволяет осуществлять анимацию движений элементов редуктора. Однако, для сложных технических систем или не всегда удастся задать корректно анимацию или в ответственных случаях, например, при принятии решений о запуске изделия в производство все-таки требуется создание прототипа изделия. При отработке методики моделирования планетарно-цевочного редуктора удалось провести также имитацию движения устройства в работе. Однако, для большей наглядности и окончательной проверки выбранных геометрических параметров и соотношений была доработана электронная модель планетарно-цевочного редуктора (рисунок 1), учитывающая посадки в гладких цилиндрических соединениях и технические особенности 3D принтера, используемого в печати. В данном случае использовался 3D принтер Dimension Elite (Stratasys, США). Техническими особенностями данного принтера, которые необходимо учитывать при печати – технологические особенности метода аддитивных технологий, реализованного в принтере; минимальная толщина стенки

прототипа из условий прочности; минимальная толщина печатаемого слоя; пространственное положение геометрических погрешностей печати данной установкой. Результат печати представлен на рисунке 2.

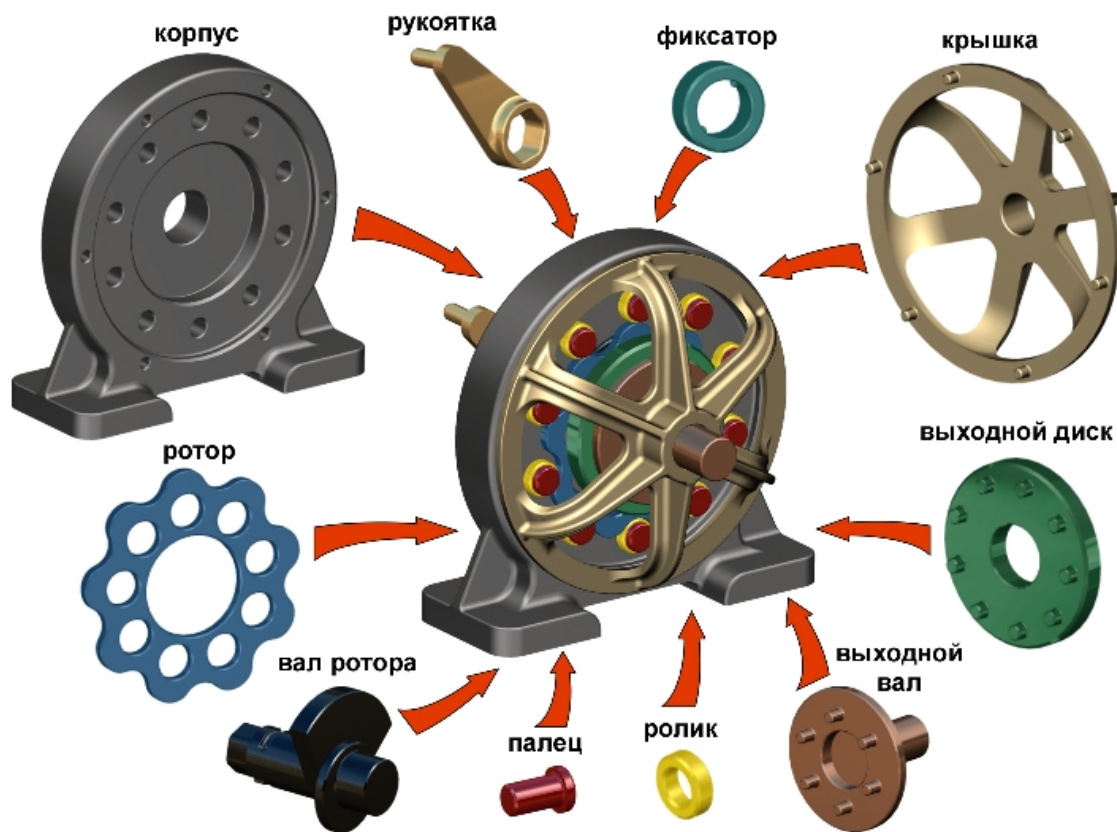


Рисунок 1 – 3D –модели конструктивных элементов редуктора

Так как для данного метода максимальная точность печати predetermined в плоскости XY, то это обязательно учитывалось на заключительной стадии подготовки электронной модели уже непосредственно в программе управления печатью. Все тела вращения размещались вертикально на подложке принтера, т.е. поперечное сечение детали лежало в плоскости XY.

Выполненный проект планетарно-цевочного редуктора показал на практике возникающие сложности его изготовления. Наибольшую сложность составляет изготовление вала ротора и самого ротора. Технологические сложности изготовления вала ротора заключаются в наличии эксцентрикового положения диска. Технологической сложностью изготовления ротора обусловлено невозможностью применения круговой интерполяции. Линейная интерполяция дополнительно вносит погрешность изготовления, что ухудшает подвижность в сопряжениях кинематических пар «ротор-цевки».

В данной работе представлено новое направление научно-методической деятельности кафедры по совершенствованию компьютерных технологий моделирования сложных мехатронных устройств и модулей.

Следующим развитием работ в данном направлении будет модель редуктора на базе волновых передач с промежуточными телами качения.



Рисунок 2 – Прототип редуктора (пластик ABS Plus)

Список литературы

1. Прецизионные редукторы – Режим доступа: <http://www.spinea.sk/ru/products/twinspin/> – 01.12.2015.
2. Низколюфтовые приводы с малым или нулевым зазором в зацеплении – Режим доступа: <http://www.sumitomo-drive.ru/catalog/11/> – 01.12.2015.
3. Муравьев, Е.В. Планетарно-цепочные редукторы и мотор-редукторы /Е.В. Муравьев // Редукторы и приводы. – 2005. – № 4,5. – С. 14-16.
- 4 Пат. 2416748 Российская Федерация, МПК [F 16 H 55/08](#), [F 16 H1/08](#) , Эксцентриково-циклоидальное зацепление зубчатых профилей (варианты)/ Становской В.В., ; заявитель и патентообладатель Становской В.В.. – № 2010103286/11 ; заявл. 01.02.2010; опубл. 20.04.2011, Бюл. № 11. – 22 с.
- 5 Самсонович, С.Л., Константинов, С.А., Степанов, В.С. Шариковолновая передача. Основы расчета. / С.Л. Самсонович, С.А. Константинов, В.С. Степанов // Авиакосмическое приборостроение № 5/2005 г.
- 6 Разработка и производство высокоточных редукторов – Режим доступа: <http://www.avvi.ru/>
- 7 Янгулов, В.С. Проектирование передач с линейными перемещениями выходного звена: учебное пособие / В.С. Янгулов; Томский политехнический университет.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.- 169 с
- 8 Design of a Planetary-Cyclo-Drive Speed Reducer Cycloid Stage, Geometry, Element Analyses – Режим доступа: <http://projectabstracts.com/4065/design-of-a-planetary-cyclo-drive-speed-reducer-mechanical-project.html>