

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОСАТЕЛЛИТНЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ РЕДУКТОРОВ

Серг Я.А., Бутко Е.В.

Научный руководитель: д.т.н., проф. *Жуков И.А.*
Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: планетарный редуктор, спутник, уравнивание нагрузки.

Аннотация. В настоящее время многосателлитные планетарные редуктора проектируются из условия, что при наличии нескольких спутников нагрузка в любом случае передается лишь одним спутником. В связи с этим проблема равномерного распределения нагрузки по спутникам является весьма актуальной, т.к. ее решение позволит уменьшить габариты редукторов и увеличить срок их службы. В данной статье приведено новое техническое решение двухсателлитного планетарного механизма, в также показаны варианты его конструктивного исполнения.

TO THE QUESTION OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF MULTI-SATELLITE PLANETARY GEARS

Serg Ya.A., Butko E.V.

Scientific supervisor: doct. of tech. sc., prof. *Zhukov I.A.*
Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: planetary gear, satellite, load balancing.

Abstract. Currently, multi-satellite planetary gearboxes are designed from the condition that in the presence of several satellites, the load is in any case transmitted by only one satellite. In this regard, the problem of uniform distribution of the load on the satellites is very relevant, because its solution allows to reduce the dimensions of the gearboxes and increase their service life. This article presents a new technical solution for a two-satellite planetary mechanism, and also shows the variants of its design.

Многосателлитные планетарные передачи нашли весьма широкое распространение в технике благодаря известным преимуществам: значительной нагрузочной способности, широкому диапазону передаточных отношений, эффективному использованию внутреннего зубчатого зацепления, хорошим массогабаритным характеристикам и высокому КПД.

Такие передачи способны передавать значительные нагрузки при сравнительно малых габаритах, тем самым, повышая технико-экономические показатели работы машин. Однако основные достоинства планетарных механизмов могут быть полностью проявлены только тогда, когда будет решена проблема равномерного распределения нагрузки между спутниками [1,2].

С целью решения этой проблемы были предложены новые конструкции уравновешенных двух- [3] и трехсателлитного планетарных механизмов [4]. Рассмотрим подробнее структуру двухсателлитного редуктора.

Механизм содержит в своем составе центральное подвижное колесо 1 с внешним зацеплением, два спутника 2 и 3, диаметрально противоположно установленные на межосевом расстоянии от центра механизма (точки O), трехпарное промежуточное звено 4, выполненное в форме кольца, радиус средней линии которого равен межосевому расстоянию механизма, водило 5, выполненное в форме стержня, длина которого равна двум межосевым расстояниям (рис. 1).

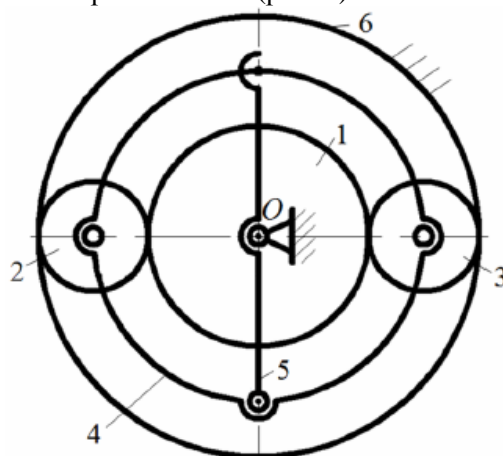


Рис. 1. Схема уравновешенного двухсателлитного планетарного редуктора

В основе структурного анализа механических систем лежит формула П.Л. Чебышёва [5, стр. 38, формула (2,5)], позволяющая определять степень подвижности кинематической цепи:

$W = 3n - 2p_5 - p_4$, где n – число подвижных звеньев, p_5 – число кинематических пар пятого класса, p_4 – число кинематических пар четвертого класса.

В предлагаемом механизме число подвижных звеньев $n = 5$: колеса 1, 2, 3, трехпарное промежуточное звено 4 и водило 5; число шарниров $p_5 = 5$ – это соединения с опорой колеса 1 и водила 5, соединение колес 2 и 3 с трехпарным промежуточным звеном 4, соединение водила 5 с трехпарным промежуточным звеном 4; число кинематических пар $p_4 = 4$: контакты сателлитов 2 и 3 соответственно с колесами 1 и 6. По формуле Чебышева подвижность такого планетарного механизма $W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 5 - 4 = 1$, что доказывает работоспособность и самоустанавливаемость уравновешенного двухсателлитного планетарного механизма.

На основании данных сведений был произведен расчет и проектирование двухсателлитного уравновешенного планетарного редуктора, а также разработана трехмерная модель (рис. 2) [6].

В механизме центральным колесом является вал-шестерня. Два сателлита расположены диаметрально противоположно. Вращение осей осуществляется за счет установленных внутри шарикоподшипников. Корончатое колесо запрессовывается в неразъемный корпус с одной крышкой. Промежуточное кольцо с двумя отверстиями устанавливается плавающим на осях вместе с сателлитами с двух сторон для уравновешивания. Еще одно отверстие на кольце выполнено для установки водила.

На противоположной стороне опоры кольца и водила для уравновешивания системы жестко между двумя промежуточными кольцами устанавливается противовес в виде стержня, вес которого был подобран таким образом, чтобы максимально избежать смещения центра масс.

Водило состоит из двух частей, одно из которых выполнено заодно с ведомым валом, другое в виде кольца. Водило соединяется с двух сторон с трехпарным звеном на неподвижную ось. Шарикоподшипники установлены внутри водила и на ведомом валу. Все подшипники были выбраны исходя из расчета и особенностей конструктивного исполнения элементов редуктора.

Для анализа напряженно-деформированного состояния уникальной детали – трехпарного звена, выполненного в форме кольца, используется интегрированная с T-Flex CAD среда конечно-элементных расчетов T-Flex Анализ [7].

Главным условием конструирования уникальной детали являлось обеспечение коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям больше 3. В связи с этим трехпарное звено в виде кольца было видоизменено.

Расчет новой конструкции детали показал коэффициент запаса равный 5,85, что удовлетворяет поставленной задаче. Таким образом, уравновешенный двухсателлитный планетарный редуктор примет следующий вид (рис. 3).

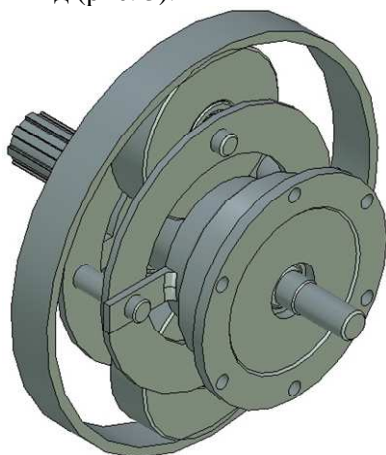


Рис. 2. 3D-модель уравновешенного двухсателлитного редуктора

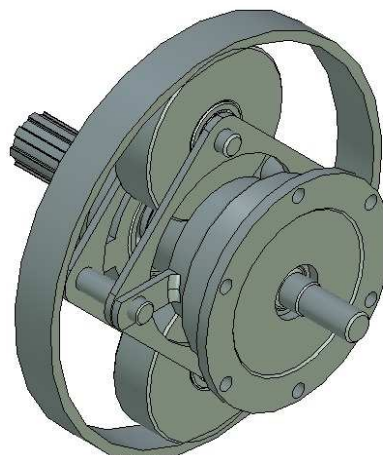


Рис. 3. 3D-модель двухсателлитного редуктора с видоизмененным водилом

Таким образом, предложенный механизм обеспечивает помимо собственно уравновешивания механизма передачу мощности через два сателлита.

Список литературы

1. Руденко Н.Ф. Планетарные передачи: Теория, применение, расчет и проектирование. – 3-е изд. – Москва; Ленинград: Машгиз, 1947. – 756 с.
2. Планетарные передачи. Справочник / под ред. В.Н. Кудрявцева, Ю.Н. Кирдяшева. – Л.: Машиностроение, 1977. – 536 с.

3. Патент №145286 РФ. Уравновешенный двухсателлитный планетарный механизм / Дворников Л.Т., Андреева Я.А., Жуков И.А. – №2014118251; приоритет от 06.05.2014; опубл. 20.09.2014, Бюл. №26.
4. Патент №186099. Уравновешенный трехсателлитный планетарный механизм / Я.А. Хайдукова. – №2017110534; приоритет от 29.03.2017; опубл. 29.12.2018, Бюл. №1.
5. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. Изд. 4-е. – М.: Наука, 1988. – 640 с.
6. T-Flex CAD. Трёхмерное моделирование: руководство пользователя. – М.: АО Топ Системы. – 2006. – 747 с.
7. «Т-Flex Анализ»: пособие по работе с системой. – М.: АО Топ Системы, 2009. – 146 с.

Сведения об авторах:

Серг Яна Андреевна – аспирант, Горный университет, г.Санкт-Петербург;

Бутко Евгений Владиславович – студент, Горный университет, г.Санкт-Петербург;

Жуков Иван Алексеевич – д.т.н., доцент, профессор кафедры машиностроения, Горный университет, г.Санкт-Петербург.
