

УРАВНОВЕШЕННЫЙ ЧЕТЫРЕХСАТЕЛЛИТНЫЙ ПЛАНЕТАРНЫЙ МЕХАНИЗМ

Максимов И.В.

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: планетарный механизм, спутник, уравнивание, самоустанавливаемость.

Аннотация. В последнее время весьма актуальной в редукторостроении является задача обеспечения передачи нагрузки в многосателлитном планетарном механизме всеми спутниками одновременно. В данной статье приведено решение поставленной проблемы для планетарного механизма, содержащего в своей структуре четыре спутника.

BALANCED FOUR-SATELLITE PLANETARY MECHANISM

Maksimov I.V.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: planetary mechanism, satellite, balancing, self-adjustment.

Abstract. Recently, the task of ensuring load transfer in a multi-satellite planetary mechanism by all satellites at the same time has been very relevant in gear-building. This article provides a solution to the problem posed for a planetary mechanism containing four satellites in its structure.

Благодаря своей компактности, долговечности, высокому КПД, постоянному передаточному отношению зубчатые механизмы широко используются в горнодобывающей, автомобильной, машиностроительной отраслях промышленности. В частности в редукторостроении применяются планетарные зубчатые механизмы, в которых оси некоторых колес подвижны.

Использование многосателлитных планетарных передач позволяет повысить технико-экономические показатели работы машин, однако, основные преимущества планетарных механизмов могут быть полностью проявлены только тогда, когда решена проблема равномерного распределения мощности между спутниками.

Решению этого вопроса посвящены классические работы [1-3].

Рассмотрим структуру простейшей планетарной передачи, в которой с целью уравнивания инерционных сил установлены четыре спутника (рисунок 1). Она состоит из ведущего центрального колеса 1 с наружными зубьями, неподвижного центрального колеса с внутренними зубьями и водила H , на котором закреплены оси спутников 2, 3, 4 и 5. Движение передается от колеса 1 к водилу H или наоборот.

В основе структурного анализа механических систем лежит формула П.Л. Чебышёва [4], позволяющая определять степень подвижности кинематической цепи:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

где n – число подвижных звеньев механизма; p_5 – число кинематических пар пятого класса – шарниров; p_4 – число высших кинематических пар четвертого класса.

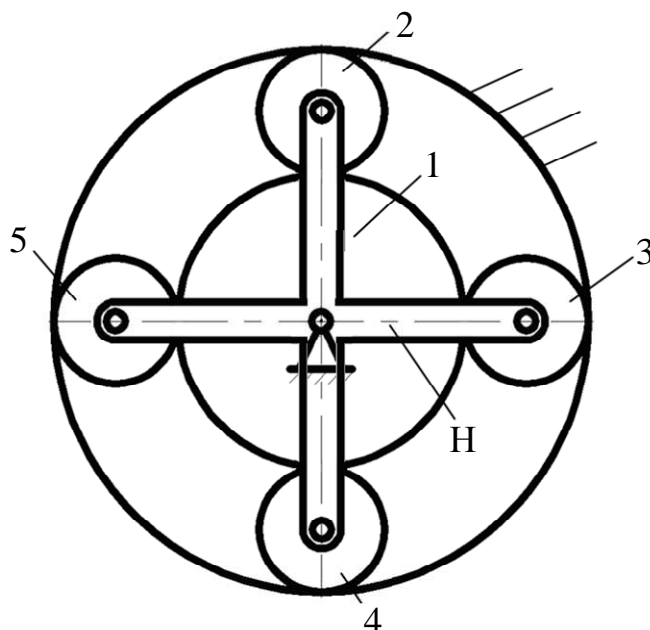


Рис. 1. Четырехсателлитный планетарный механизм

В механизме, изображенном на рисунке 1, подвижных звеньев $n = 6$: центральное колесо 1, сателлиты 2, 3, 4 и 5, водило H ; кинематических пар пятого класса $p_5 = 6$: соединения центрального колеса со стойкой, водила со стойкой, водила с сателлитом; кинематических пар четвертого класса $p_4 = 8$: по две пары у каждого сателлита с центральными колесами.

Тогда согласно формуле (1) степень подвижности четырехсателлитного механизма равна:

$$W = 3 \cdot 6 - 2 \cdot 6 - 8 = -2,$$

и в этом случае механизм является статически неопределимой системой. В теории машин такой результат объясняют наличием избыточных связей.

Работа механизма с принуждением неизбежно приводит к чрезмерному износу зубьев колес, что является причиной потери отдельными сателлитами зацепления с центральными колесами и, следовательно, к неравномерности распределения нагрузки между сателлитами, уменьшению КПД, снижению надежности и срока службы механизмов.

Для синтеза уравновешенных многосателлитных планетарных передач [5] к ведущему звену необходимо добавлять группы звеньев, обладающих нулевой подвижностью, где одно или несколько звеньев, из которых будут представлять собой дополнительные сателлиты [6]. На рисунке 2 представлена восьмизвенная группа нулевой подвижности, которая может быть использована для синтеза четырехсателлитной планетарной передачи.

Однако применение такой группы звеньев влечет появление задач обеспечения равномерности работы передачи, уравновешивания инерционных сил от сателлитов и динамического уравновешивания рычажных звеньев.

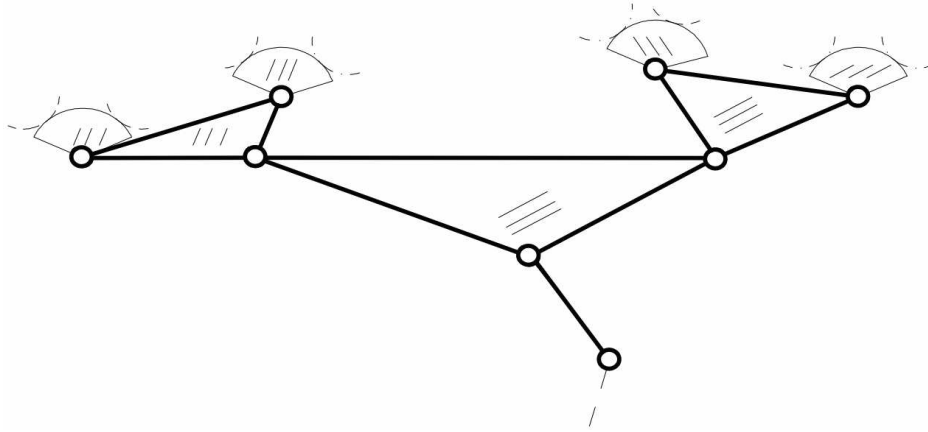


Рис. 2. Восьмизвенная группа нулевой подвижности

В качестве решения этой проблемы предложена новая конструкция четырехсателлитного планетарного механизма (рис. 3) [7], включающего центральное подвижное колесо с внешним зацеплением, неподвижное колесо с внутренним зацеплением, водило, три трехшарнирных шатуна и четыре сателлита. Первый и второй сателлиты связаны между собой первым трехшарнирным шатуном, третий и четвертый сателлиты связаны между собой вторым трехшарнирным шатуном. Первый и второй трехшарнирные шатуны связаны между собой третьим трехшарнирным рычагом, входящим в шарнир с водилом. Уравновешивание сил инерции от рычажных звеньев достигается тем, что первый и второй трехпарные шатуны выполнены в форме полуколец, радиус средней линии которых равен межосевому расстоянию механизма, третий трехпарный шатун выполнен в форме квадрата, диагональ которого равна двум межосевым расстояниям механизма, водило выполнено в форме стержня, длина которого равна двум межосевым расстояниям механизма.

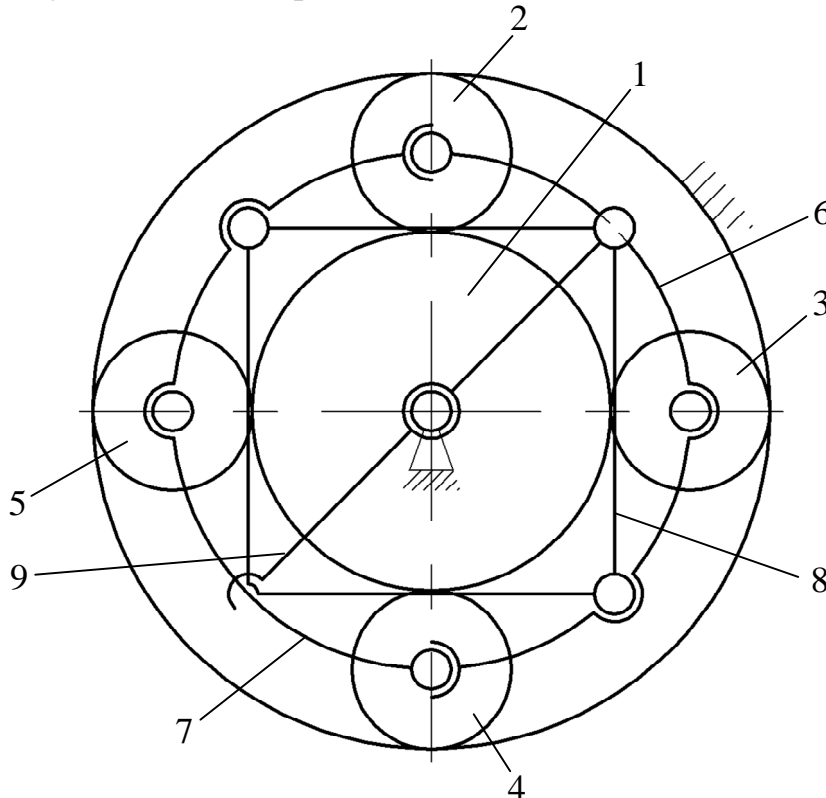


Рис. 3. Уравновешенный четырехсателлитный планетарный механизм

В предлагаемом механизме число подвижных звеньев $n=9$: колеса 1, 2, 3, 4, 5, трехпарные промежуточные звенья 6, 7, 8 и водило 9; число шарниров $p_5=9$ – это соединения с опорой колеса 1 и водила 9, соединение колес 2 и 3 с трехпарным шатуном 4, соединение колес 4 и 5 с трехпарным шатуном 7, соединение трехпарных звеньев 6 и 8, 7 и 8, соединение водила 9 с трехпарным шатуном 8; число кинематических пар $p_4=8$: по паре контактов каждого сателлита 2, 3, 4, 5 с центральными колесами. По формуле (1) подвижность такого планетарного механизма $W = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 9 - 8 = 1$, что доказывает работоспособность и самоустанавливаемость уравновешенного четырехсателлитного планетарного механизма.

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

Работа выполнена под руководством профессора кафедры машиностроения, д.т.н. Жукова Ивана Алексеевича.

Список литературы

1. Планетарные передачи. Справочник. Под ред. В.Н. Кудрявцева, Ю.Н. Кирдяшева. – М.: Машиностроение, 1977. – 536 с.
2. Руденко Н.Ф. Планетарные передачи. Теория, применение, расчет и проектирование. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Машгиз, 1947. – 756 с.
3. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. Изд. 3-е. – М.: Наука, 1975. – 640 с.
4. Крайнев А.Ф. Механика машин. Фундаментальный словарь. – М.: Машиностроение, 2000. – 904 с.
5. Андреева Я.А. Решение проблемы создания планетарных редукторов с равномерным распределением нагрузки по сателлитам / Я.А. Андреева, Л.Т. Дворников, И.А. Жуков // Машиностроение и инженерное образование. – 2013. – №4. – С. 2-8.
6. Герасимов С.П., Дворников Л.Т. О группах Ассур применительно к планетарным зубчатым механизмам / С.П. Герасимов, Л.Т. Дворников // Успехи современного естествознания. – 2012. – №6. – С. 150.
7. Заявка на полезную модель. Уравновешенный четырехсателлитный планетарный механизм / И.А. Жуков, Л.Т. Дворников, И.В. Максимов. – Приоритет от 06.12.2021.

Сведения об авторе:

Максимов Иван Владимирович – студент, Горный университет, Санкт-Петербург.