

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ С БЕЗВОДИЛЬНЫМИ САТЕЛЛИТАМИ

Дворников Л.Т., Торушпанов К.В.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк

Ключевые слова: безводильный сателлит, безводильные планетарные передачи, группы Ассур, группы нулевой подвижности, геометрическая ось вращения.

Аннотация. Рассмотрено такое понятие, как планетарные передачи с безводильными сателлитами. Рассмотрена схема взаимодействия звеньев в безводильной планетарной передаче. Описан уникальный принцип проектирования и создания безводильных планетарных передач с установленными в них группами нулевой подвижности, соединяющими все установленные безводильные сателлиты между собой. Разработана таблица, в которой представлены числа звеньев и кинематических пар безводильных планетарных передач в зависимости от числа сателлитов от одного до десяти. Приведен метод конструирования безводильных планетарных передач. Сделаны выводы о целесообразности исследования планетарных передач с безводильными сателлитами. Тема статьи ранее практически не поднималась и является малоизученной.

FUNDAMENTALS OF THE STRUCTURAL SYNTHESIS OF PLANETARY GEARS WITH CARRIER-FREE SATELLITES

Dvornikov L. T., Torushpanov K. V.

Siberian state industrial university, Novokuznetsk

Keywords: carrier-free satellite, planetary carrier-free gears, Assur group, group of zero mobility, geometric axis of rotation.

Abstract. Considered such a thing as a, planetary transmission with carrier-free satellites. Considered the scheme of interactions links in a planetary gear with carrier-free satellites. Describes the unique principle of designing and creating planetary carrier-free gears with zero-mobility groups installed in the transmission, connecting all installed carrier-free satellites between it. Developed a table which shows the number of links and kinematic pairs planetary carrier-free gears depending on the number of satellites from one to ten. Describes a method for constructing planetary carrier-free gears. The conclusions about the feasibility of studying planetary gears with carrier-free satellites. The subject of the article had not been raised, and is little known

По мнению авторов настоящей статьи впервые понятие планетарных механизмов с безводильными сателлитами в рассматриваемом здесь виде было использовано в патенте РФ на изобретение № 2340814 от 10.12.2008 [1].

Далее проблема их изучения рассматривалась в работе [2] и в патенте на изобретение [3]. Пример простейшей такой безводильной планетарной передачи, показан на рисунке 1.

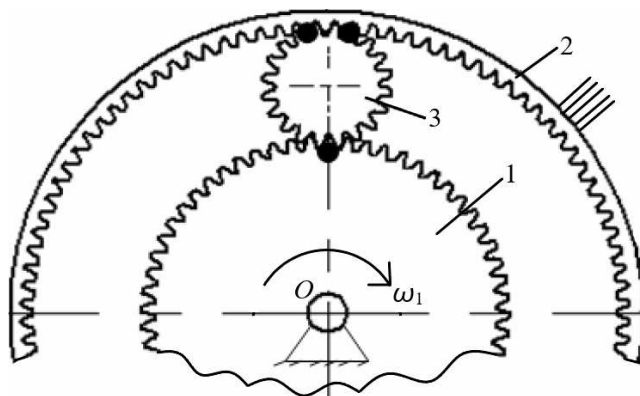


Рис. 1. Планетарная передача с безводильным сателлитом

Она состоит из центрального подвижного колеса 1, центрального неподвижного колеса 2 и сателлита 3. При задании движения (ω_1) центральному колесу 1, безводильный сателлит 3, взаимодействуя своими зубьями с колесами 1 и 2, получает движение, откуда следует, что подвижность такого механизма равна единице, $W=1$. Имея в виду известную формулу подвижности плоских механизмов П. Л. Чебышева [4, с. 40, формула 2.6]

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

где n – число подвижных звеньев механизма;

p_5 – число одноподвижных кинематических пар (шарниров);

p_4 – число двухподвижных пар – высших (пар зацепления),

есть основание утверждать, что при числе подвижных звеньев $n=2$ (колёса 1 и 3), числе одноподвижных пар $p_5=1$ (центральное колесо 1 со стойкой O), число пар p_4 в системе, показанной на рисунке 1, окажется равным $p_4=3n-2p_5-W=6-2-1=3$.

Это означает, что, сателлит 3 в безводильном планетарном механизме движется, опираясь через три высшие кинематические пары зубьев колёс 1 и 2, что соответствует закону механики, утверждающему, что твёрдое тело в плоскости является уравновешенным лишь в том случае, если оно опирается на неподвижное звено в трёх точках.

Из изложенного следует, что сателлит 3 в таком безводильном планетарном механизме имеет вполне определённое движение и может перемещаться относительно центра вращения колеса без дополнительного звена – водила, как это организуется в обычных водильных планетарных передачах. В связи с этим, такой трехпарный сателлит есть основания называть безводильным.

Передача, показанная на рисунке 1, обладая определенностью движения, не имеет возможности передавать мощность без добавления выходного звена.

Согласно патенту на изобретение [3], движение от подвижного безводильного сателлита может быть передано на выходное звено 5 (рисунок 2), например через два звена 4 и 5, которые образуют группу Ассур – группу звеньев нулевой подвижности.

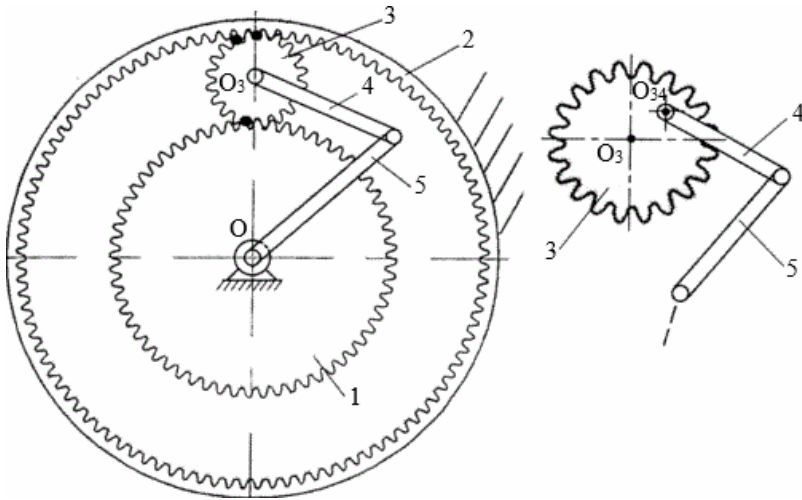


Рис. 2. Безводильная планетарная передача [3]

В таком механизме общее число подвижных звеньев $n=4$, пар $p_5=4$, пар $p_4=3$, то есть его подвижность по формуле (1) равна единице, $W=1$.

Рассмотрим геометрию обычного планетарного механизма [4, с. 156, рис. 7.23], состоящего из центрального подвижного колеса 1, неподвижного центрального колеса 2, сателлита 3, опирающегося на центральные колеса 1 и 2 в двух точках (А и В), и водила 4. Подвижность такого механизма при $n=3$, $p_5=3$ и $p_4=2$ окажется равной единице ($W=3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 2 = 1$).

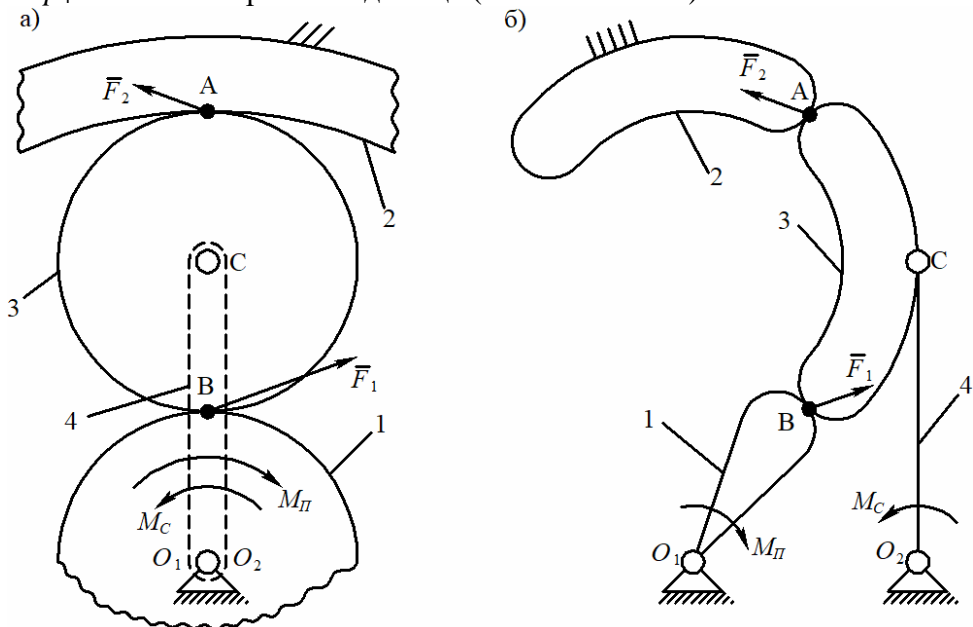


Рис. 3. Схема взаимодействия звеньев в обычной планетарной передаче

Силы, возникающие в этом механизме в процессе передачи движения от центрального ведущего колеса 1 на сателлит 3 в случае, показанном на рисунке 3, уравниваются моментом M_C .

Схема взаимодействия звеньев в безводильной планетарной передаче показана на рисунке 4, где обозначены центральное подвижное колесо 1, неподвижное центральное колесо 2, безводильный сателлит 3, опирающийся на центральные колеса 1 и 2 в трёх точках (А, В, С или В, С, D), и двухзвенной рычажной группы Ассура 4-5.

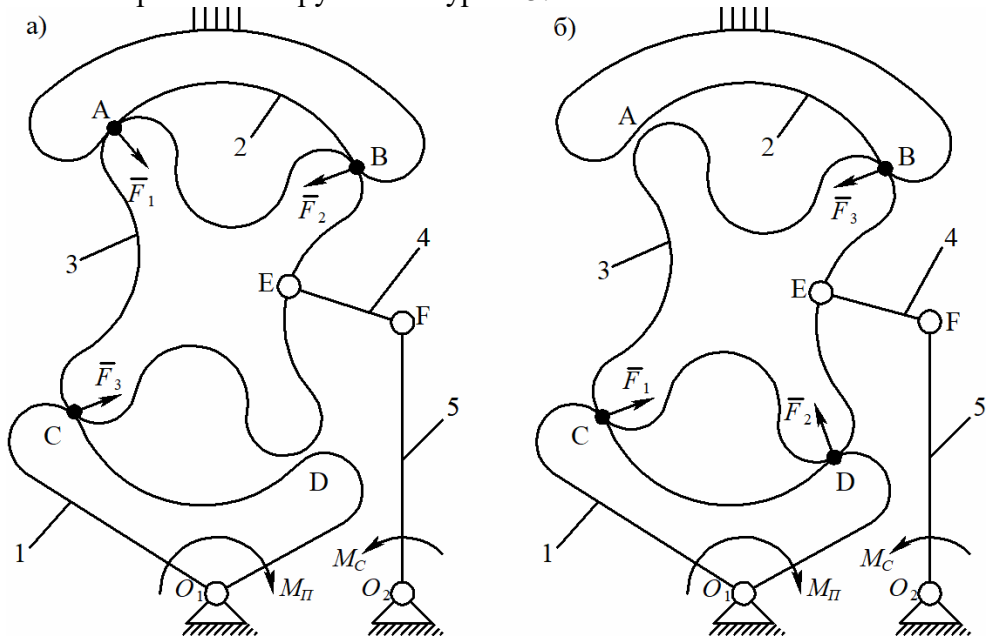


Рис. 4. Схема взаимодействия звеньев безводильной планетарной передачи

Геометрические оси O_1 и O_2 на рисунке 4, как и на рисунке 3 для наглядности разнесены. В действительности они соосны.

Сравнение обычной планетарной передачи (рисунок 3) и безводильной (рисунок 4) показывает принципиальное их отличие. Оно заключается в том, что при передаче заданного момента M_{II} в первом случае он передаётся двумя силами \bar{F}_1 и \bar{F}_2 , а во втором – тремя силами \bar{F}_1 , \bar{F}_2 и \bar{F}_3 . При равенстве заданного момента сопротивления M_C величина каждой из сил во втором случае окажется меньшей. Отсюда следует, что при задании равных сил в контактах зубьев, безводильная планетарная передача может передавать больший общий момент M_{II} .

Это отличие может оказаться существенным настолько, что применение безводильного зубчатого зацепления станет технически и экономически более целесообразно. Эффект достигается за счёт того, что безводильный сателлит не имеет жесткого закрепления, как в случае с водильным сателлитом. Его геометрическая ось вращения подвижна, что обеспечивает ему возможность самоустанавливаться.

Необходимо особо отметить, что в передаче с безводильным сателлитом неизбежен процесс потери одного из контактов между центральными колёсами и сателлитом, как это показано на рисунке 4 при изменении контактов в точках А, В, С на контакты в точках В, С, D. Однако за счёт сил

инерции, набранных передач, это мгновенное изменение контактов не может существенно влиять на изменение движения звеньев. Это особенно становится несущественным, если увеличивать число безводильных сателлитов в передаче. При установке двух безводильных сателлитов, число контактов передачи увеличивается до шести, при трёх сателлитах – до девяти, т.е. в многосателлитных безводильных передачах возможность передачи большей мощности существенно увеличивается.

Здесь важно отметить, что при изменении зацепления из положения (рисунок 4, а) в положение (рисунок 4, б) число контактов колёс мгновенно становится равным двум, что влияет на перераспределение сил. Казалось бы, это обстоятельство делает безводильное зацепление менее предпочтительным, чем зацепление водильное, однако это не так, в водильном зацеплении (рисунок 3) также перед входом в контакт третьего зуба, обязательно выходит из зацепления первый зуб и на некоторое короткое время передается движение через один контакт.

Отметим, что безводильные планетарные передачи легко поддаются структурным, кинематическим и силовым расчётам.

Если в структурном отношении обозначить через m число безводильных сателлитов планетарной передачи, то чтобы собранная из них механическая система была вполне работоспособной, необходимо обеспечить выполнение в ней требования подвижности (1).

В приведенной выше односателлитной передаче, показанной на рисунке 2, общее число подвижных звеньев $n=4$ (1, 3, 4, 5), число одноподвижных пар – шарниров $p_5=4$ (1-5, 5-4, 4-3, 5-0), число высших пар – пар зацепления $p_4=3$. Согласно (1) подвижность такой передачи равна единице.

Общее число звеньев безводильной передачи определяется зависимостью

$$n = 3m + 1. \quad (2)$$

Это легко проверить по передаче, показанной на рисунке 2. В ней число безводильных сателлитов $m=1$, тогда по формуле (2), получаем, что $n=4$, то есть это – центральное ведущее колесо 1, сателлит 3 и рычаги 4, 5.

При построении передачи с двумя безводильными сателлитами (рисунок 5), подвижность которой $W=3n-2p_5-p_4=1$, использовано $n=7$ (т. е. $n=3m+1=3 \cdot 2+1=7$, $p_5=7$, $p_4=6$).

Общее число одноподвижных пар – шарниров в передаче, определится зависимостью

$$p_5 = 3m + 1, \quad (3)$$

а число двухподвижных пар – пар зацеплений, зависимостью

$$p_4 = 3m. \quad (4)$$

Общая подвижность безводильных передач, построенных с числом звеньев по формуле (2), числом одноподвижных пар по формуле (3) и числом двухподвижных пар по формуле (4) при подстановке их в формулу (1) определится, как

$$W = 3(3m + 1) - 2(3m + 1) - 3m = 9m + 3 - 6m - 2 - 3m = 1, \quad (5)$$

т.е. равна единице, $W=1$.

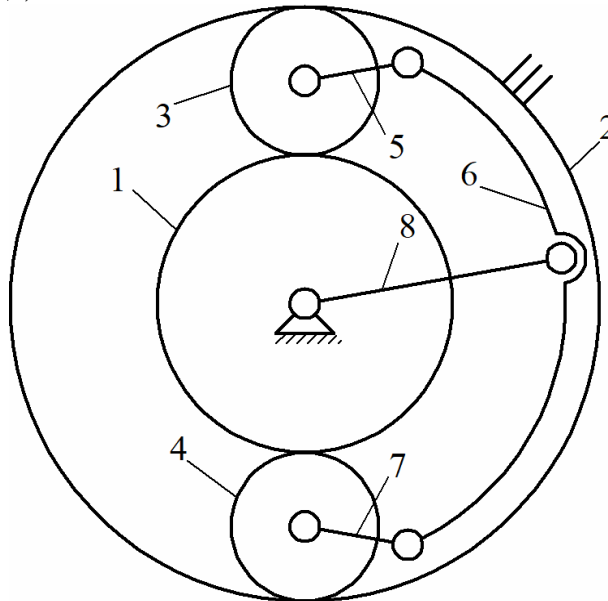


Рис. 5. Планетарная передача с двумя безводильными сателлитами

Общее число рычагов n_p в безводильных планетарных передачах складывается из числа трёхпарных n_{p3} и двухпарных рычагов n_{p2}

$$n_p = n_{p3} + n_{p2} = 3m + 1 - (m + 1) = 2m, \quad (6)$$

где 1 – двухпарное выходное звено.

Число двухпарных рычагов n_{p2} определится зависимостью

$$n_{p2} = 2m - m + 1 = m + 1, \quad (7)$$

а число трёхпарных рычагов n_{p3} , зависимостью

$$n_{p3} = n_p - n_{p2} = 2m - m - 1 = m - 1. \quad (8)$$

Используя формулы (2, 3, 4, 7 и 8) и задаваясь числом безводильных сателлитов m , можно определить число подвижных звеньев n , число трёхпарных рычагов n_{p3} , число двухпарных рычагов n_{p2} , число пар p_5 и число пар p_4 для всех возможных безводильных планетарных передач (таблица 1).

Табл. 1. Числа звеньев и кинематических пар безводильных планетарных механизмов в зависимости от числа сателлитов от одного до десяти

Число безводильных сателлитов, m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число подвижных звеньев, n	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
Число двухпарных рычагов, n_{p2}	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Число трёхпарных рычагов, n_{p3}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число одноподвижных пар, p_5	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
Число двухподвижных пар, p_4	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30

Рассмотрим метод построения безводильных планетарных передач. В качестве примера построим планетарную передачу с четырьмя безводильными сателлитами. Исходя из формул (2, 3, 4, 7 и 8) и данных

таблицы 1, найдем, что число подвижных звеньев должно быть $n=13$ (из них число трёхпарных рычагов $n_{p3}=3$, число двухпарных рычагов $n_{p2}=5$), а число пар $p_5=13$ и число пар $p_4=12$.

Для построения работоспособного планетарного механизма с безводильными сателлитами необходимо, чтобы в его составе находилось центральное ведущее колесо, неподвижное колесо с внутренним зацеплением, сателлиты и звенья, образующие группу Ассур нулевой подвижности.

Полученный планетарный механизм с четырьмя безводильными сателлитами показан на рисунке 6. В таком планетарном механизме число подвижных звеньев $n=13$, число пар $p_5=13$, а число пар $p_4=12$ и согласно формуле (1) его подвижность равна единице.

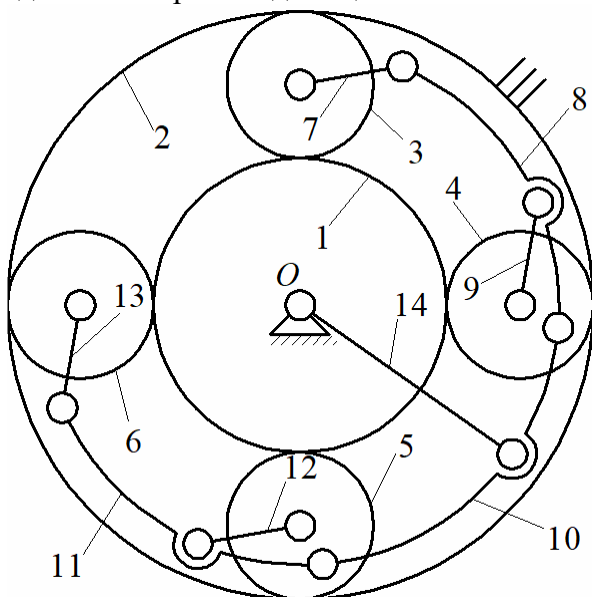


Рис. 6. Планетарный механизм с четырьмя безводильными сателлитами

Приведенные рассуждения могут явиться достаточным основанием к разработке методов построения и полного силового исследования безводильных планетарных передач, способных найти широкое применение в технике.

Список литературы

1. Патент №2340814 РФ. Планетарный механизм с безводильным сателлитом / Дворников Л.Т., Шурыгин А.В., Чернявский К.С. – № 2007118620/11; заявл. 18.05.2007; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 34. – 4 с.
2. Киселева О.С. Планетарный механизм с безводильным сателлитом // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 8. – С. 145-147.
3. Патент №2576215 РФ. Односателлитная планетарная передача / Дворников Л.Т., Киселёва О.С.; заявитель и патентообладатель Новокузнецк. СибГИУ. – № 2014137728/11; заявл. 17.09.2014; опубл. 27.02.2016, Бюл. № 6. – 4 с.
4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640с.

References

1. Patent №2340814 RU. Planetary mechanism with a waterless satellite / Dvornikov L.T., Shurygin A.V., Chernyavsky K.S. – № 2007118620/11; declared 18.05.2007; publ. 10.12.2008, Bul. № 34. – 4 p.
2. Kiseleva O.S. Planetary mechanism with a waterless satellite // Advances in modern natural science. – 2014. – № 8. – P. 145-147.
3. Patent №2576215 RU. One satellite planetary transmission / Dvornikov L.T., Kiseleva O. S. – № 2014137728/11; declared 17.09.2014; publ. 27.02.2016, Bul. № 6. – 4 p.
4. Artobolevsky I.I. Theory of mechanisms and machines: textbook. – – 4th ed. – M.: Science, 1988. – 640p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Дворников Леонид Трофимович – д.т.н., профессор, профессор кафедры механики и машиностроения	Dvornikov Leonid Trofimovich – doctor of technical sciences, professor, professor of Department of mechanics and mechanical engineering
Торушпанов Кирилл Валерьевич – магистрант	Truchanov Kirill Valerievich – graduate student
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russia

Получена 19.05.2020