

## **К ЗАДАЧАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМЫ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО САТЕЛЛИТАМ В ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМАХ ОСОБОЙ СТРУКТУРЫ**

*Серебряков И.А.<sup>1</sup>, Серг Я.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк;*

<sup>2</sup>*ООО «ЕвразХолдинг», г. Новокузнецк*

**Ключевые слова:** планетарная передача, трехспутникный планетарный механизм, проблема распределения нагрузки, экспериментальный стенд.

**Аннотация.** В данной статье представлены результаты исследования задач по проблеме равномерного распределения нагрузки по спутникам в планетарных механизмах оригинальной структуры. Изображена спроектированная 3D модель запатентованного планетарного механизма, изготовлены его детали для сборки и проведения физического эксперимента.

## **TO THE TASKS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROBLEM OF UNIFORM DISTRIBUTION OF THE LOAD ON SATELLITES IN PLANETARY MECHANISMS OF A SPECIAL STRUCTURE**

*Serebryakov I.A.<sup>1</sup>, Serg Ya.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk;*

<sup>2</sup>*EvrzHolding, Novokuznetsk*

**Keywords:** planetary transmission, three-satellite planetary mechanism, problem of load distribution, experimental stand.

**Abstract.** This article presents the results of a study of problems on the problem of uniform distribution of load across satellites in planetary mechanisms of the original structure. A 3D-designed model of a patented planetary mechanism is shown, its parts are manufactured for assembly and conducting a physical experiment.

В настоящее время основная задача, стоящая перед машиностроительным комплексом России, заключается в повышении технического уровня производства, его рентабельности и качества продукции, экономии трудовых и производственных ресурсов. На современном этапе производства пристальное внимание уделяется развитию сферы редукторостроения. Приобретение качественных отечественных редукторов будет являться для потребителя более выгодным практически во всех отношениях. Но, даже с учетом специальной наладки под отечественное оборудование, стоимость импортной продукции зачастую оказывается более привлекательной, т.к. существует ряд

неразрешенных проблем, связанных с изготовлением и монтажом, с которыми сталкиваются отечественные изготовители.

Данная проблема в том числе связана с расчетом и изготовлением планетарных редукторов. В отечественном редукторостроении интерес к изучению проблем современных планетарных передач весьма актуален в течение многих лет, т.к. данный вид редукторов имеет ряд неоспоримых преимуществ, таких как высокая нагрузочная способность и хорошие массогабаритные показатели [1, 2]. Практика их использования обширна, благодаря тому, что они способны передавать значительные мощности и реализовывать высокие передаточные числа. Однако проблема распределения нагрузки по сателлитам [1-6] является актуальной и первостепенной при решении задачи о работоспособности и уравнивании такого редуктора.

Еще в работах профессора Дворникова Л.Т. и его учеников излагались проблемы, связанные с современным состоянием теории планетарных механизмов [3-6]. Основная идея таких научных исследований заключалась в утверждении, что в планетарных механизмах, сколько бы сателлитов он не содержал, есть только один, который может передавать всю мощность от ведущего колеса к водилу или наоборот.

Данная идея находит свое подтверждение и в работах профессора Кудрявцева В.Н. [1], где говорится, что при работе многосателлитных планетарных передач, мощность до 80% фактически передается через какой-то один сателлит, в то время как другие сателлиты не имеют зацеплений с центральными колесами. При этом, нагрузка может передаваться через разные сателлиты в любой момент времени. Из этого следует, что каждый сателлит в структуре планетарного механизма должен обладать уровнем прочности, удовлетворяющему полному его нагружению.

В исследованиях профессора Дворникова Л.Т. и его учеников [5, 6] был предложен один из вариантов для реализации и создания уравновешенных многосателлитных планетарных передач путем присоединения к ведущему звену группы звеньев, обладающих нулевой подвижностью, в структуре которых содержатся дополнительные сателлиты. В качестве решения, для синтеза многосателлитных планетарных механизмов добавляли не отдельные сателлиты с подвижностью, а группы звеньев, обладающих нулевой подвижностью (рис. 1), одно или несколько звеньев из которых будут представлять из себя дополнительные сателлиты [5, 6]. Таким образом, был найден перечень групп нулевой подвижности необходимых для создания многосателлитных планетарных передач.

В целях подтверждения предложенной теории и с использованием найденных групп нулевой подвижности были заявлены и запатентованы ряд изобретений и полезных моделей самоустанавливающихся многосателлитных планетарных механизмов [7-11], целью которых являлось устранение избыточных связей для обеспечения свободного, безыносного движения сателлитов, увеличения срока службы планетарного механизма и передачи мощности всеми сателлитами за все время работы механизма. Согласно

формуле Чебышева П.Л., подвижность таких механизмов равна 1, что свидетельствует о работоспособности механизмов и их способности самоустанавливаться.

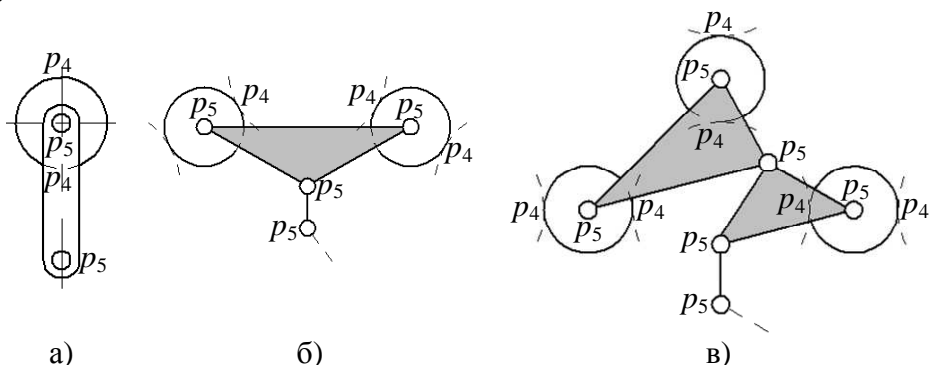


Рис. 1. Группы нулевой подвижности а) двухзвенная; б) четырехзвенная; в) шестизвенная

Однако на практике с 2008 года запатентованные планетарные механизмы, способные в теории обеспечить равномерность распределения нагрузок, не нашли применения, поскольку проведенных практических исследований в целях физического подтверждения результатов работы так и не проводилось.

Для проведения экспериментальных исследований требуется создать физическую модель стенда планетарного механизма. На основе запатентованного трехсателлитного планетарного механизма [10] был рассчитан и спроектирован стенд (рис. 2), который при физическом исполнении будет использован для проведения экспериментальных исследований и подтверждения предположения о том, что такая конструкция механизма позволяет равномерно передать мощность от ведущего колеса к ведомому звену всеми сателлитами одновременно.

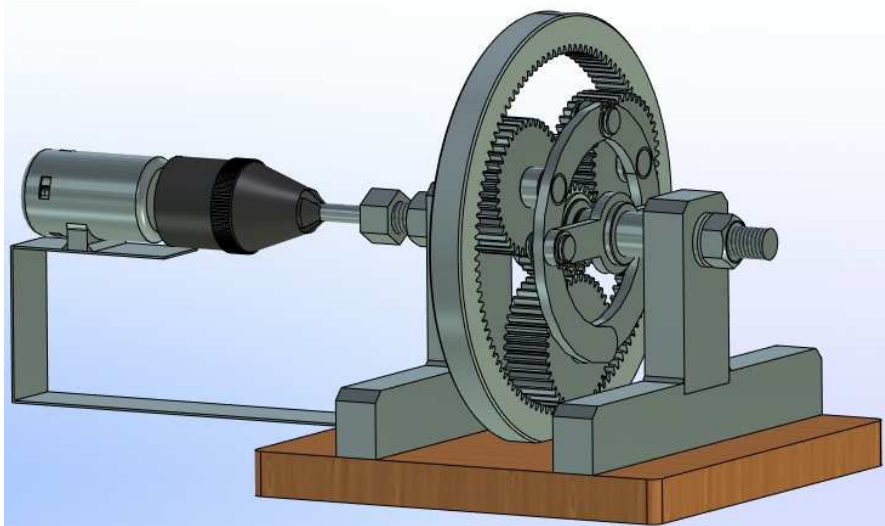


Рис. 2. Сборочная 3D модель экспериментального стенда



Рис. 3. Детали экспериментального стенда

Идея эксперимента заключается во включении стенда в электрическую схему при условии, что проводником будет служить один из сателлитов, а остальные изготавливаются из диэлектрических материалов.

При работе данного стенда напряжение, поступающее от блока питания, проходит на стойку ведущего вала, от стойки – на ведущий вал и солнечную шестерню, от солнечной шестерни к ведомому валу напряжение поступает через токопроводящий сателлит, полукольца и водило, затем напряжение поступает на стойку ведомого вала и с него обратно в блок питания, тем самым замыкая электрическую цепь. Напряжение считывается мультиметром, включенным в схему, с которого все показания оцифровываются и передаются на персональный компьютер с выводением графиков зависимости напряжения от времени. Полученные данные после проведения испытаний в виде графиков в ПК можно успешно использовать для детального исследования зацепления зубчатых колес.

Рассмотренная диагностическая схема позволит на экспериментальном уровне продемонстрировать теорию Леонида Трофимовича Дворникова, обеспечивающую равномерное распределение нагрузок по сателлитам, и обогатить научные работы, направленные на исследование зацепления зубьев в планетарных передачах.

### Список литературы

1. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1966. – 308 с.
2. Руденко Н.Ф. Планетарные передачи. Теория, расчет, применение и проектирование. – 3-е изд., испр. и доп. – М.; Л.: Mashgiz, 1947. – 756 с.
3. Дворников Л.Т. Проблема избыточных связей в планетарных зубчатых механизмах и ее разрешение / Л.Т. Дворников, В.В. Дмитриев // Известия Томского политехнического университета. 2010. Т. 316. № 2. С. 13-15.
4. Дворников Л.Т. Теория структурного синтеза зубчатых механизмов как плоских кинематических цепей с высшими парами / Л.Т. Дворников, В.В. Дмитриев. – М.: Изд-во «Эдитус», 2014. – 116с.
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. Дворников Л.Т. Принципиальные проблемы многосателлитных планетарных зубчатых передач и возможные пути их разрешения / Л.Т. Дворников, С.П. Герасимов // Фундаментальные исследования. – 2017. – №12. – С. 44-51.
7. Патент №2419006. Самоустанавливающийся планетарный механизм / Дворников Л.Т., Дмитриев В.В., Андреева Я.А. – №2010108197; приоритет от 04.03.2010; опубл. 20.05.2011, Бюл. №14.
8. Патент №145286. 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.
9. Патент №2583320. Самоустанавливающаяся четырехсателлитная планетарная передача / Герасимов С.П., Дворников Л.Т. – №2015100339/11 приоритет от 12.01.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. №13.
10. Патент №186099. Уравновешенный трехсателлитный планетарный механизм / Хайдукова Я.А. – №2017110534; приоритет от 29.03.2017; опубл. 29.12.2018, Бюл. №1.
11. Патент №2701296. Самоустанавливающаяся пятисателлитная планетарная передача / Герасимов С.П., Дворников Л.Т., Торушпанов К.В. – №2018141155 приоритет от 22.11.2018; опубл. 25.09.2019, Бюл. №26.

### References

1. Kudryavtsev V.N. Planetary transmissions: handbook. – M.: Mechanical Engineering, 1966. – 308 p.
2. Rudenko N.F. Planetary transmissions. Theory, calculation, application and design. – M.; L.: Mashgiz, 1947. – 756 p.
3. Dvornikov L.T. The problem of redundant connections in planetary gear mechanisms and its resolution / L.T. Dvornikov, V.V. Dmitriev // News of Tomsk Polytechnic University. 2010. Vol. 316. No. 2. P. 13-15.
4. Dvornikov L.T. Theory of structural synthesis of gear mechanisms as planar kinematic chains with higher pairs / L.T. Dvornikov, V.V. Dmitriev. – M.: Publ. house "Editus", 2014. – 116p.
5. Andreeva Ya.A. Solution is to create a planetary gearbox with uniform load distribution of satellites / Ya.A. Andreeva, L.T. Dvornikov, I.A. Zhukov // mechanical engineering and engineering education. – 2013. – No. 4. – P. 2-8.
6. Dvornikov L.T. Fundamental problems of multi-satellite planetary gears and possible ways to solve them / L.T. Dvornikov, S.P. Gerasimov // Fundamental Research. – 2017. – No. 12. – P.44-51.

7. Patent No. 2419006. Self-aligning planetary mechanism / Dvornikov L.T., Dmitriev V.V., Andreeva Ya.A. – No. 2010108197; priority from 04.03.2010; publ. 20.05.2011, Bul. No. 14.
8. Patent No. 145286. Balanced two-satellite planetary mechanism / Dvornikov L.T., Andreeva Ya.A., Zhukov I.A. – No. 2014118251; priority from 06.05.2014; publ. 20.09.2014, Bul. No.26.
9. Patent No. 2583320. Self-installing four-satellite planetary transmission / Gerasimov S.P., Dvornikov L.T. – No. 2015100339 priority of 12.01.2015; publ. 10.05.2016, Bul. No.
10. Patent No. 186099. Balanced three-satellite planetary mechanism / Khaydukova Ya.A. – No. 2017110534; priority of 29.03.2017; publ. 29.12.2018, Bul. No. 1.
11. Patent No. 2701296. Self-installing five-satellite planetary transmission/ Gerasimov S.P., Dvornikov L.T., Torushpanov K.V. – No. 2018141155 priority of 22.11.2018; publ. 25.09.2019, Bul. No. 26.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Серебряков Игорь Александрович</b> – аспирант, Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк, Россия</p> | <p><b>Serebryakov Igor Aleksandrovich</b> – graduate student, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia</p> |
| <p><b>Серг Яна Андреевна</b> – аудитор, ООО «ЕвразХолдинг», г. Новокузнецк, naika1611@mail.ru</p>                                    | <p><b>Serg Yana Andreevna</b> – auditor, EvrazHolding, Novokuznetsk, Russia, naika1611@mail.ru</p>                           |

*Получена 08.06.2021*