

## К ПРОБЛЕМЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ 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>*Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** редуктор, трехсателлитный планетарный механизм, проблема распределения нагрузки, экспериментальный стенд.

**Аннотация.** В данной статье представлен подход к экспериментальному исследованию, схема подключения и диагностирования усовершенствованного планетарного редуктора, в котором исключены избыточные связи посредством внедренных дополнительных групп нулевой подвижности, в состав которых входит дополнительный сателлит, что позволяет равномерно распределять передаваемые мощности по сателлитам.

## ON THE PROBLEM OF EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF 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>*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg*

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

**Abstract.** This article presents an approach to experimental research, a scheme for connecting and diagnosing an improved planetary gearbox, in which redundant connections are excluded by means of implemented additional zero-mobility groups, which include an additional satellite, which allows for evenly distributing the transmitted power across the satellites.

В отечественном редукторостроении интерес к изучению проблем современных планетарных передач весьма актуален многие годы, поскольку планетарная передача обладает высокой нагрузочной способностью и хорошими массогабаритными показателями [1]. Большую часть своих трудов ученые посвятили конструированию планетарных передач, в которых решаются задачи достижения минимального числа избыточных связей, способные приблизить конструкцию к равномерному распределению мощностей по зубьям сателлитов. Решение поставленных задач имеет положительный эффект на всю конструкцию, поскольку, производя равномерное распределение, можно было бы гарантировать одинаковое участие всех сателлитов в передаче мощности, тем самым существенно бы снижались передаваемые нагрузки на каждый сателлит, что в свою очередь привело бы к уменьшению массогабаритных параметров механизма и увеличению срока службы таких механизмов [2]. Такие результаты научно интеллектуальной деятельности имеют в том числе экономический эффект для промышленных предприятий и заводов изготовителей. Однако на практике запатентованные планетарные механизмы, способные в теории обеспечить равномерность распределения нагрузок, не нашли применения, поскольку проведенных практических исследований в целях физического подтверждения результатов работ не проводилось.

Коллективом научной школы профессора Леонида Трофимовича Дворникова было теоретически доказано, что для обеспечения равномерного распределения нагрузок по сателлитам необходимо добавлять к ведущему звену планетарной передачи группу звеньев, имеющую нулевую подвижность [3].

В целях подтверждения предложенной теории за основу был взят запатентованный уравновешенный трехсателлитный планетарный механизм [4]. Согласно теории Леонида Трофимовича Дворникова, применяя формулу Пафнутия Львовича Чебышева, определяем, что исследуемый механизм имеет число подвижных звеньев  $n=7$ , число кинематических пар  $p_5 = 7$ , число пар зацепления  $p_4 = 6$ , следовательно, подвижность механизма

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 7 - 6 = 1. \quad (1)$$

Данное уравнение свидетельствует о работоспособности такого механизма и его способности самоустанавливаться.

В работе [5] представлены результаты, полученные при проведении вычислительных экспериментов в программном комплексе «Т-Flex Динамика». Проведенный анализ действия сил реакции на всех трех сателлитах в определенный момент времени свидетельствует о равномерном распределении нагрузки на каждый сателлит в каждый момент работы планетарного механизма.

Для проведения экспериментальных исследований необходимо создание физической модели стенда планетарного механизма, как показано на рисунке 1.

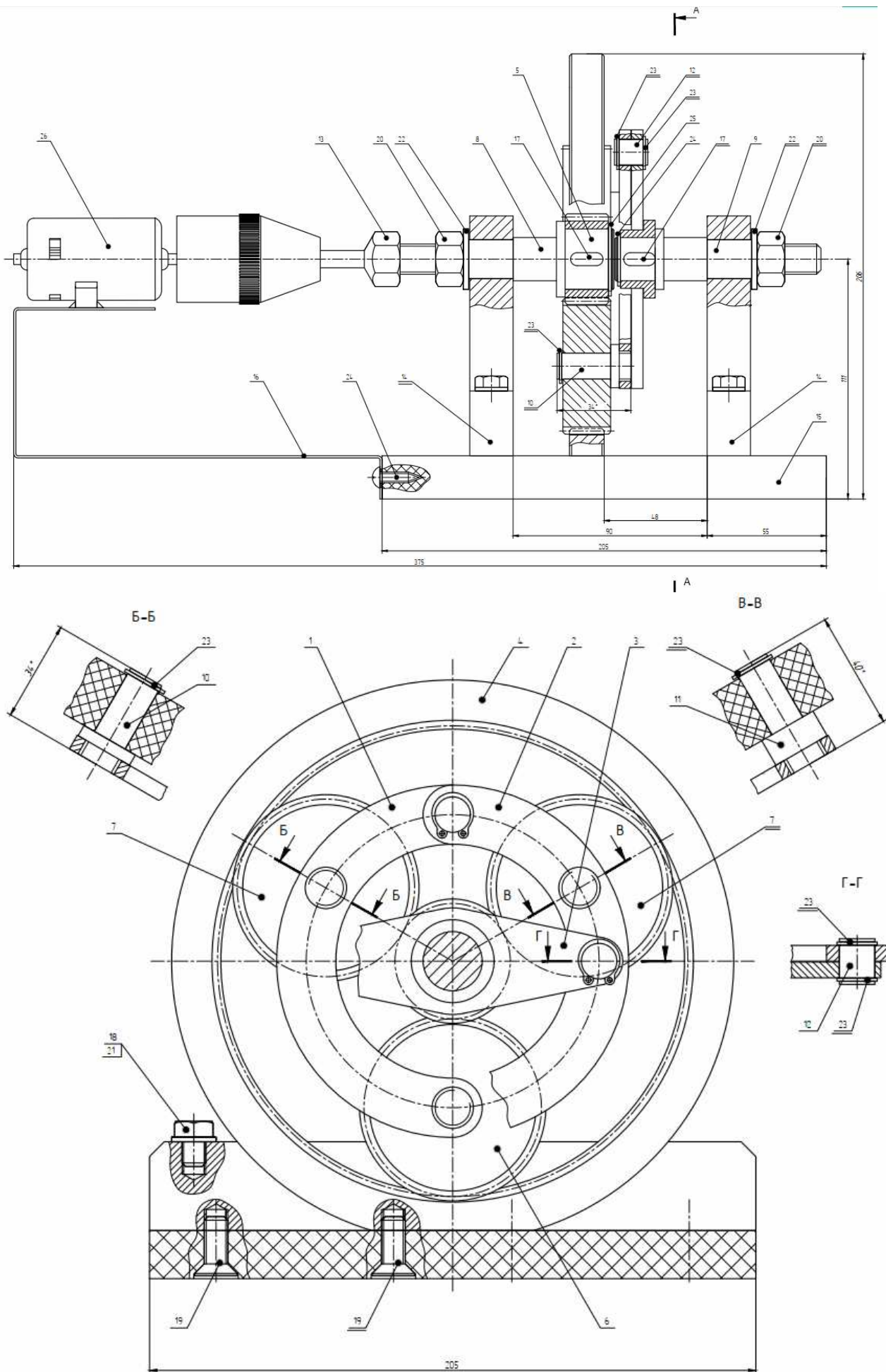


Рис. 1. Схематичное изображение стэнда планетарного редуктора

В рассматриваемой схеме используется платформа из диэлектрика (дерево) – 15, две стойки для валов ведущего и ведомого, выполненные из стали, – 14, внешний венец с внутренним зацеплением из стали – 4, вал ведущий – 8, вал ведомый – 9, водило, полукольца 1 и 2, и водило 3 [4], причем два сателлита выполнены из диэлектрика (капролон) – 7, один сателлит из стали, проводящий электрический ток, – 6, солнечная шестерня, выполненная из стали, – 5, соединительная муфта от привода к валу – 13, электропривод – 26.

Задача эксперимента – исследовать применение уникального редуктора, представленного в работе [4], на практическом опыте, посредством образования и диагностики электрической схемы, изображенной на рисунке 2.

Электрическая схема, согласно рисункам 1 и 2, образовывается посредством подачи одного контакта переменного тока напряжением 15В, на одну из стоек – 14, цифровой программный мультиметр (УТ 61В) – V, подключен через лампу 12В, служащую сопротивлением. При нажатии кнопок, изображенных на электросхеме, напряжение поступает на электродвигатель через заранее настроенные регуляторы мощности, от электродвигателя подается крутящий момент на ведущий вал 8 и солнечную шестерню 5 при помощи муфты 13, крутящий момент от солнечной шестерни подается на сателлиты 6 и 7, два диэлектрических и один стальной, крутящий момент от сателлитов передается на водило 3 и ведомый вал 9.

При работе данного стенда напряжение, поступающее от блока питания, проходит на болт 18, далее на стойку ведущего вала 14 через лампу 12В, от стойки напряжение поступает на ведущий вал 8 и солнечную шестерню 5, от солнечной шестерни к ведомому валу напряжение поступает через электропроводящий сателлит 6 и полукольца 1,2 и водило 3, далее напряжение поступает на стойку ведомого вала, с него на болт 18 и обратно в блок питания, тем самым замыкая электрическую цепь. Напряжение считывается мультиметром (УТ 61В) с контактов лампы 12В. С мультиметра все показания оцифровываются и передаются на персональный компьютер с выводением графиков зависимости напряжения от времени.

*Схема подключения и диагностики стенда редуктора планетарного*

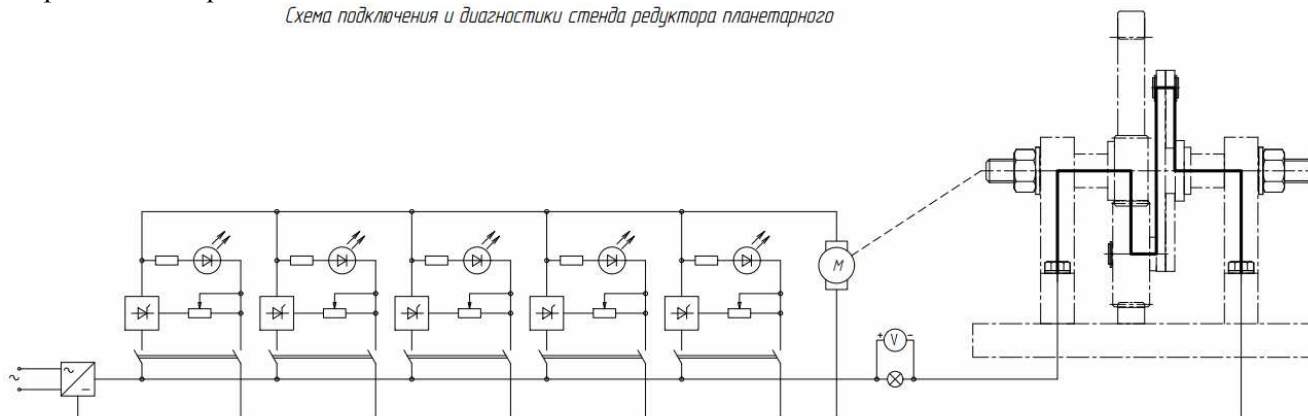


Рис. 2. Электрическая схема планетарного стенда

Таким образом, посредством двух стальных стоек, цифрового программного мультиметра, стального сателлита, вала ведущего и ведомого, а также водила, создается электрическая цепь для диагностики зубчатого зацепления сателлитов, солнечной шестерни и венца с внутренним зацеплением, поскольку весь диагностируемый узел выполнен из металла. 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 многие 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. 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.

3. 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.
4. Пат. 186099 РФ, МПК F16H 1/36. Уравновешенный трёхсателлитный планетарный механизм / Хайдукова Я.А.. – №2017110534; заявл. 29.03.2017; опубл. 29.12.2018, Бюл. №32.
5. Андреева Я.А., Дворников Л.Т., Жуков И.А. Решение проблемы создания планетарных редукторов с равномерным распределением нагрузки по сателлитам // Машиностроение и инженерное образование. – 2013. – №4. – С. 2-8.

Сведения об авторах:

*Серебряков Игорь Александрович* – аспирант, СибГИУ, г.Новокузнецк;

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

---

---