

УТВЕРЖДАЮ

Ректор учреждения образования  
«Белорусский государственный  
технологический университет»,  
д-р техн. наук, проф.  
И.В. Войтов



И.В. Войтов  
2023 г.

### ОТЗЫВ

оппонирующей организации – учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» на диссертационную работу Лустенковой Екатерины Сергеевны на тему «Расчет и проектирование сферических роликовых передач для малогабаритных приводов», представленной в Совет по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин

#### 1. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ЗАЯВЛЕННОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ И ОТРАСЛИ НАУКИ

Содержание диссертации соответствует специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин и отрасли наук «Технические науки», так как она посвящена разработке и повышению технического уровня механических передач общемашиностроительного назначения, являющихся элементами приводов, независимо от отраслевой принадлежности. Тема исследований соответствует формуле специальности, согласно которой предметом исследований «являются процессы функционирования и утраты работоспособности систем приводов, механизмов, узлов, сборочных единиц, деталей машин», и области исследований: «Теория, методы расчета и проектирования, в том числе автоматизированные, базирующиеся на более совершенных моделях функционирования и прогнозирования технического состояния объектов машиностроения» в соответствии с паспортом специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин, утвержденного приказом ВАК Республики Беларусь от 18.12.2017 г. № 292.

## 2. НАУЧНЫЙ ВКЛАД СОИСКАТЕЛЯ В РЕШЕНИЕ НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ С ОЦЕНКОЙ ЕГО ЗНАЧИМОСТИ

Соискателем разработана методика расчета и проектирования малогабаритных механических передач для работы в составе электроприводов различного назначения. В передачах применены промежуточные тела, которые образуют высшие кинематические пары с рабочими поверхностями других деталей передачи с геометрическим замыканием. Траекториями центров масс тел качения являются замкнутые периодические кривые, расположенные на сферических поверхностях. Теоретически и экспериментально установлено, что данные передачи при диаметре корпуса до 200 мм могут обеспечить высокие значения удельной передаваемой мощности, соответствующие уровню ведущих производителей редукторной техники.

Соискателем разработана классификационная схема механических передач, использующих тела качения для передачи нагрузки, и сформирована по новым признакам, что *позволяет* выбирать перспективные группы механизмов высокого технического уровня для синтеза структуры новых передач при проектировании малогабаритных приводных систем.

Соискателем была предложена конструкция сферической роликовой передачи, аналогом которой является планетарная зубчатая передача с двухвенцовым сателлитом. Конструктивная схема передачи включает сателлит с двумя коаксиально расположенными рядами роликов с консольными участками сферической формы, контактирующих с беговыми дорожками, расположенными на сферических поверхностях, что *позволяет* снизить материалоемкость и повысить уравновешенность системы.

Получены новые параметрические уравнения центровых профилей кулачковых поверхностей, образующих беговые дорожки, по которым перемещаются ролики, обеспечивающие постоянство мгновенного передаточного отношения, как функции чисел периодов беговых дорожек и центрального угла в плоскости, перпендикулярной оси передачи, что *позволяет* проектировать малогабаритные передачи с различными значениями передаточных отношений из заданного диапазона (16...200).

Получены новые теоретические зависимости сил, действующих в передаче, и КПД исследуемых передач от их геометрических параметров и коэффициентов трения, подтвержденные экспериментально, которые *позволяют* оценивать нагруженность элементов передачи и рассчитывать рациональные значения их параметров.

Соискателем получены новые теоретические зависимости для определения геометрических параметров, обеспечивающих максимальный КПД и нагрузочную способность, что в совокупности *позволило* разработать методику расчета и проектирования сферических роликовых передач, обеспечивающих максимальный передаваемый момент при заданных



радиальных габаритах передачи и передаточном отношении.

На основе разработанной методики рассчитан, спроектирован и изготовлен ряд редукторных механизмов и устройств, внедренных в производство, отличающихся применением механических передач высокого технического уровня по критерию массы, отнесенной к передаваемому моменту, менее  $0,1 \text{ кг}/(\text{Н}\cdot\text{м})$ , с промежуточными телами качения с широким диапазоном передаточных отношений (16...200) для приводов с ограниченными радиальными размерами.

### **3. КОНКРЕТНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ (С УКАЗАНИЕМ ИХ НОВИЗНЫ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ), ЗА КОТОРЫЕ СОИСКАТЕЛЮ МОЖЕТ БЫТЬ ПРИСУЖДЕНА УЧЕНАЯ СТЕПЕНЬ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин автору диссертации Лустенковой Е.С. может быть присуждена за новые научно обоснованные результаты в области расчета и проектирования сферических передаточных механизмов, включающие:

□ разработку и теоретическое обоснование (на основе системного анализа аналогов и предложенной классификации) кинематической схемы и конструкции сферической роликовой передачи с сателлитом с двумя коаксиально расположенными рядами роликов, имеющих торцы сферической формы, контактирующие с беговыми дорожками остановленного и ведомого кулачков, что позволяет проектировать передачи, обеспечивающие реализацию передаточных отношений в диапазоне от 16 до 200.

□ вывод параметрических уравнений центровых профилей кулачковых поверхностей, образующих беговые дорожки, по которым перемещаются сферические торцы роликов, обеспечивающие постоянство мгновенного передаточного отношения, как функции центрального угла в плоскости, перпендикулярной оси передачи, в зависимости от передаточного отношения, радиуса сферической поверхности расположения кривых и угла наклона кривошипа ведущего вала, позволяющие определять траектории центров масс роликов, проводить кинематический и силовой анализы передачи, а также изготавливать кулачки на станках с ЧПУ;

□ теоретически установленные зависимости сил, действующих в передаче, и ее КПД от геометрических параметров передачи и коэффициентов трения, подтвержденные экспериментально, позволяющие оценить нагруженность основных элементов передачи, разработать методики их прочностного расчета и рассчитать их параметры, обеспечивающие максимальный КПД;

□ определение основных геометрических параметров деталей передач, обеспечивающих максимальный КПД и нагрузочную способность, в совокупности позволивших разработать методику расчета и проектирования

сферических роликовых передач с двухрядным сателлитом высокого технического уровня, рассчитать и спроектировать ряд малогабаритных редукторных механизмов (с диаметром корпуса до 200 мм) с материалоемкостью, ниже чем у червячных передач, и КПД, сопоставимым с планетарными зубчатыми передачами с двухрядным сателлитом.

#### **4. СООТВЕТСТВИЕ НАУЧНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ, НА КОТОРУЮ ОН ПРЕТЕНДУЕТ**

Анализ проведенных теоретических и экспериментальных исследований при выполнении диссертационной работы показал, что соискатель способен самостоятельно решать сложные научно-технические задачи. Заключительные выводы по результатам проведенного диссертационного исследования свидетельствуют о высоком уровне квалификации Лустенковой Е.С. в области расчета и проектирования новых редукторных механизмов.

Основные научные результаты, положения и выводы опубликованы в 35 научных работах, в том числе в 19 статьях в рецензируемых научных журналах, в соответствии с п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 1 монографии, написанной в соавторстве, и 13 материалах докладов на международных конференциях. Получены два патента на изобретения.

#### **5. КОНКРЕТНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ О ВОЗМОЖНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ**

Результаты исследований рекомендуется использовать разработчиками новой техники на машиностроительных предприятиях при проектировании малогабаритных приводных систем (с максимальным диаметром корпуса до 200 мм) с большими значениями передаточных отношений (16...200).

Разработанную методику расчета и проектирования можно рекомендовать для создания малогабаритных энергоэффективных средств механизации со встроенными передачами с составными промежуточными телами качения. Данные средства были созданы (подъемно-тяговое устройство, редукторный баллонный ключ) и осуществлена их промышленная апробация. Разработан редуктор для привода тяговой лебедки с передаточным отношением 44, редуктор баллонного ключа с передаточным отношением 16, по своим массовым и габаритным характеристикам сопоставимых с червячными редукторами, но имеющих более низкие габаритные и стоимостные показатели. Разработан редукторный узел с передаточным отношением 105 для мотор-редуктора. Данный редуктор имеет средний КПД 0,62, сопоставимый с КПД зубчатых планетарных передач с двухрядным сателлитом с внутренними зацеплениями, но больший коэффициент перекрытия и не требует дополнительных конструктивных мер



по уравниванию сателлита.

Созданная методика расчета и проектирования СРП применяется в образовательном процессе студентов машиностроительного факультета в Белорусско-Российском университете и может использоваться при подготовке специалистов технического профиля различного уровня.

По представленной на оппонирование диссертации имеются следующие *замечания*:

1. В методике расчета и проектирования сферических роликовых передач отсутствует прочностной расчет сателлита, имеющего сложную форму.

2. Следовало бы привести оценку ремонтпригодности разработанных редукторов.

3. Расчет экономической эффективности основан на сравнении сферических роликовых передач с червячными передачами. Целесообразно было бы провести сравнение затрат на изготовление и сборку планетарных зубчатых передач с двухвенцовым сателлитом в диапазоне передаточных отношений, превышающем диапазон червячных передач.

## **6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Несмотря на отмеченные недостатки и замечания, диссертационная работа Лустенковой Екатерины Сергеевны на тему «Расчет и проектирование сферических роликовых передач для малогабаритных приводов» является актуальной, законченной научной работой, содержащей теоретическое и практическое решение актуальной проблемы создания и повышения технического уровня конкурентоспособных силовых передаточных механизмов для работы в пространстве с ограниченными радиальными размерами, имеет внутреннее единство, обладает научной новизной и практической значимостью, так как посвящена вопросам разработки теоретически и экспериментально обоснованной методики создания энергоэффективных механических передач высокого технического уровня.

При этом обоснованность и достоверность сформулированных в диссертации научных положений и выводов в заключении подтверждаются методически правильной постановкой цели и задач исследований, корректным применением математического аппарата и основных положений классической механики, результатами статистической обработки экспериментальных данных и необходимой точностью используемых при исследованиях измерительных средств.

Считаем, что работа Лустенковой Екатерины Сергеевны на тему «Расчет и проектирование сферических роликовых передач для малогабаритных приводов» соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и Положению о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, а

также специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин, а автор диссертационной работы Лустенкова Е.С. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин.

Отзыв составлен на основе обсуждения диссертации и устного доклада соискателя на заседании расширенного научного собрания кафедры МиПТС Белорусского государственного технологического университета (приказ № 197 от 11.04.2023 г.).

Присутствовало докторов наук – 1, кандидатов наук – 11, голосовали «за» – 12, «против» – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель,  
канд. техн. наук, доцент



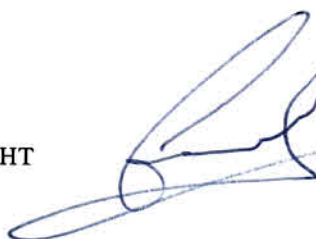
С.Е. Бельский

Секретарь, канд. техн. наук, доцент



А.И. Сурус

Эксперт, канд. техн. наук, доцент



М.Н. Пищов

*Отзыв поступил в совет 28.04.23*

*Уп. секретарь совета Д. С. Девочкин*

*С отзывом ознакомлена  
28.04.23 Сем / Е.С. Лустенкова*