

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Лустенковой Екатерины Сергеевны на тему «Расчет и проектирование сферических роликовых передач для малогабаритных приводов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин

СООТВЕТСТВИЕ ДИССЕРТАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ И ОТРАСЛИ НАУКИ, ПО КОТОРЫМ ОНА ПРЕДСТАВЛЕНА К ЗАЩИТЕ

Согласно паспорту специальности 05.02.02 (Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 18.12.2017 г. № 292) в формуле специальности указывается, что предметом исследования являются процессы функционирования и утраты работоспособности систем приводов вне зависимости от их отраслевой принадлежности. Исследуемые в диссертации сферические роликовые передачи могут применяться в различных отраслях промышленности и могут быть отнесены к передачам общемашиностроительного назначения.

Области исследований представленной диссертационной работы соответствуют паспорту специальности в части п.2 «Теория, методы расчета и проектирования, в том числе автоматизированные, базирующиеся на более совершенных моделях функционирования и прогнозирования технического состояния объектов машиностроения». В диссертации исследуется состояние нагруженности элементов привода, рассмотрены вопросы обеспечения их надежности, что также соответствует паспорту специальности 05.02.02.

Диссертация соответствует технической отрасли науки и специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа посвящена разработке конструкции, созданию методики расчета и проектирования малогабаритных передаточных механизмов с большими значениями передаточных отношений для электромеханических приводов различного назначения.

Тенденции развития современного механического привода связаны с применением новых материалов, покрытий, новых видов термообработки и упрочнения, повышением точности изготовления деталей. В связи с практически исчерпанными резервами повышения долговечности и передаваемой мощности «традиционных» зубчатых зацеплений путем совершенствования их конструкции и геометрии разработчики приводной техники все чаще обращают внимание на механические передачи новых типов, в т. ч. на передачи с промежуточными телами качения. Они обладают высокой нагрузочной способностью при низкой материалоемкости, т. к. нагрузка передается по множеству параллельных потоков. Длительное время

широкому распространению передач новых типов препятствовали трудности изготовления поверхностей сложной формы. В настоящее время с появлением высокотехнологичного металлорежущего оборудования с ЧПУ и внедрением аддитивных технологий исследования новых передач вновь приобрели актуальность.

Передачи с траекториями тел качения, расположенными на сферической поверхности (группа сферических механизмов), менее распространены. Передачи сферического типа имеют дополнительное преимущество, такое как малогабаритность одновременно и в радиальном, и в осевом направлениях, что определяет перспективы их применения в условиях ограничений, налагаемых на габариты привода. Важными остаются задачи повышения технического уровня данных передач, включающие увеличение нагрузочной способности и снижение потерь мощности. В связи с этим актуальной является разработка методик их расчета и проектирования, которые позволят создавать сферические передачи с промежуточными телами качения высокого технического уровня.

Тема диссертационных исследований находится в соответствии с п. 4. «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы (машиностроение и машиноведение)» Перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности в Республике Беларусь на 2021–2025 гг., утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156.

Таким образом, тема диссертации, направленная на разработку новых типов механических передач для широкого спектра отраслей промышленности, позволяющей снизить затраты на производство, на повышение технических характеристик приводных систем отечественного производства, является актуальной.

СТЕПЕНЬ НОВИЗНЫ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ, И НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫНОСИМЫХ НА ЗАЩИТУ

В заключении диссертации и положениях, выносимых на защиту, представлены следующие результаты, являющиеся новыми.

1. Разработана схема классификации сферических передач с промежуточными телами качения, отличающаяся новыми признаками, по которым группируются передаточные механизмы: вид замыкания высших кинематических пар, образуемых роликами; число элементов, контактирующих с телами качения; необходимость фиксации тел качения относительно сателлита (п. 1 положений, п. 1 заключения);

2. Предложены кинематическая и конструктивная схемы сферической роликовой передачи, согласно которым ряды роликов расположены коаксиально, что позволяет обеспечить постоянный контакт всех тел качения

наружного ряда с беговой дорожкой и снизить удельную нагрузку (п. 2 положений, п. 2 заключения);

3. Получены параметрические уравнения траекторий движения центров масс тел качения, устанавливающие зависимость их координат от передаточного отношения, радиуса сферической поверхности, где располагаются эти траектории, и угла наклона кривошипа ведущего вала, позволяющие определить кинематические параметры элементов передачи (п. 2 положений, п. 3 заключения);

4. Установлены зависимости сил, действующих в зацеплении, и КПД от геометрии передачи, передаваемого момента и приведенных коэффициентов трения (п. 3 положений, п. 4 заключения);

5. Получены новые теоретические зависимости для определения рациональных геометрических параметров СРП, обеспечивающих максимальные КПД и нагрузочную способность, которые позволили разработать методику расчета и проектирования редукторов высокого технического уровня на основе сферической роликовой передачи (п. 4 положений, пп. 5, 6 заключения).

В целом, все результаты диссертационной работы и положения, выносимые на защиту, содержат научную новизну. Техническая новизна разработок подтверждена полученными патентами на изобретение Республики Беларусь.

ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Обоснованность и достоверность разработанной классификационной схемы сферических передач с промежуточными телами качения подтверждена использованием, в качестве основы, признанных классификаций механизмов из теории механизмов и машин, большим количеством литературных источников, а также соответствием предлагаемой классификации современным направлениям развития редукторной техники.

Второй пункт заключения, описывающий отличительные особенности конструктивной схемы сферической роликовой передачи, обоснован применением основных положений теоретической механики, теории механизмов и машин и деталей машин.

Полученные параметрические уравнения беговых дорожек, выносимые на защиту как новый результат исследований, получены на основе корректного использования математического аппарата, свойства передач с предложенными беговыми дорожками подтверждены результатами компьютерного моделирования и результатами экспериментальных испытаний образцов редукторов.

Обоснованность результатов исследований, отраженных в четвертом пункте заключения, подтверждена корректным применением теории контактной прочности Герца, теории надежности машин и положений

трибологии, а также результатами анализа нагруженности методом конечных элементов в системе ANSYS и моделирования в системе Siemens NX.

В процессе экспериментальных исследований применялись стандартные методы и поверенные средства измерений, в том числе цифровой шумомер Testo 816-1 и тепловизор FLIR T440.

Выводы диссертации о создании опытных образцов редукторов с указанными характеристиками и рекомендации по практическому использованию можно считать обоснованными и достоверными на основе документов, подтверждающих внедрение и промышленную апробацию, а также результатами лабораторных испытаний опытных образцов.

Таким образом, выводы и рекомендации по диссертационной работе можно считать обоснованными и достоверными.

НАУЧНАЯ, ПРАКТИЧЕСКАЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ С УКАЗАНИЕМ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Научная значимость результатов исследований заключается в следующем:

- в расширении конструктивного ряда сферических механизмов, обладающих новыми свойствами, и развитии теории новых зацеплений;

- в разработке методики расчета и проектирования малогабаритных сферических роликовых передач, обеспечивающих редукцию скорости вращения и увеличение вращающего момента в широком диапазоне, включающую полученные новые зависимости для определения действующих сил в передаче и ее КПД, определение рациональных геометрических параметров основных элементов передачи, обеспечивающих максимальные значения КПД и передаваемого вращающего момента;

- в экспериментальном подтверждении результатов теоретических исследований и установлении зависимостей КПД, шумовых и тепловых характеристик нового типа механических передач.

Практическая значимость состоит в том, что результаты исследований могут использоваться 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). Разработан ряд редукторных механизмов с СРП, включающий: редукторный модуль для привода тяговой лебедки с передаточным отношением 44; редуктор баллонного ключа с передаточным отношением 16; редукторный узел с передаточным отношением 105 для мотор-редуктора.

Экономическая значимость заключается в снижении материалоемкости редукторной техники. Подтверждена эффективность применения СРП для замены червячной передачи мотор-редуктора с передаточным отношением 44, позволяющая снизить массу и габариты привода. Экономический эффект

за счет снижения расходов на изготовление и материалы в условиях мелкосерийного производства на неспециализированном предприятии с использованием станков с ЧПУ составил около 200,0 BYN на единицу продукции (по состоянию цен на август 2021 г.), а партии редукторов в количестве 50 шт. – около 30,0 BYN. Экономическая значимость также заключается в том, что результаты работы направлены на импортозамещение.

Социальная значимость обусловлена использованием результатов работы в учебном процессе и повышением качества подготовки студентов.

ОПУБЛИКОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ В НАУЧНОЙ ПЕЧАТИ

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 35 научных работах, написанных единолично и в соавторстве, в том числе 1 монографии (16,1 авторского листа), 19 статьях в изданиях, включенных в перечень ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований и в зарубежных изданиях (13,6 авторского листа), 13 докладах на международных научно-технических конференциях. Из 35 работ 17 опубликованы без соавторства. Получены 2 патента на изобретения Республики Беларусь.

Требования ВАК Республики Беларусь по опубликованности результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора наук выполнены.

СООТВЕТСТВИЕ ОФОРМЛЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ТРЕБОВАНИЯМ ВАК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Оформление диссертационной работы соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, изложенным в Инструкции по оформлению диссертации и автореферата (утв. Постановлением Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3).

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников (127 наименований, из них 57 на иностранном языке), списка публикаций соискателя ученой степени (35 наименований, из них 2 на иностранном языке) и шести приложений.

Работа изложена на 234 страницах машинописного текста, включает 88 рисунков, 9 таблиц. Приложения приведены на 79 страницах.

СООТВЕТСТВИЕ НАУЧНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ, НА КОТОРУЮ ОН ПРЕТЕНДУЕТ

Представленная диссертационная работа и уровень подготовки соискателя позволяют сделать вывод о том, что Лустенкова Екатерина

Сергеевна по своей научной квалификации соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин.

Замечания по диссертационной работе

1. В диссертационной работе отсутствует анализ крутильных колебаний и определение амплитудно-частотных характеристик сферических роликовых передач.

2. В работе недостаточно четко прослеживается обоснование определения «малогабаритные приводы», присутствующего в названии диссертации. Дополнительного обоснования также требует верхняя граница исследуемого диапазона передаточных отношений 16...200.

3. При структурном анализе разработанного механизма не установлена необходимость исследования дублирующих (избыточных) связей, к чему приводит их наличие или отсутствие.

4. Термин «сферическая передача» возможно введен излишне. Сателлит предлагаемой передачи совершает определенную разновидность сферического движения – регулярную прецессию. В Республике Беларусь создана научная школа и проведены системные исследования прецессионных передач. Данную передачу также можно отнести к группе прецессионных.

Отмеченные замечания не затрагивают основных положений диссертационной работы и не повлияли на выводы и полученные результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Лустенковой Е.С. имеет внутреннюю логику, носит законченный характер и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Соискатель Лустенкова Екатерина Сергеевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение, системы приводов и детали машин за развитие актуального научного направления, заключающееся в разработке методики расчета и проектирования механических передач с промежуточными телами качения сферического типа, **включающее полученные новые результаты:**

– классификационная схема сферических передач с промежуточными телами качения, отличающаяся разделением передач по количеству звеньев, контактирующих с телами качения, по виду геометрического замыкания высших кинематических пар (образуемых телами качения с беговыми дорожками), и их фиксации относительно одного из элементов передачи;

– конструктивная схема передачи, реализация которой позволяет повысить ее технический уровень по сравнению с передачами-аналогами;

– зависимости сил, действующих в зацеплении, и КПД передачи от нагрузок, геометрии, коэффициентов трения для определения рациональных

геометрических параметров элементов передачи, обеспечивающих минимальные потери мощности;

– зависимости действующих напряжений от силовых факторов, геометрии передачи, применяемых материалов и коэффициентов трения, позволяющие оценить нагруженность основных элементов передачи, разработать методики их прочностного расчета и рассчитать их параметры, обеспечивающие максимальный КПД,

что в совокупности позволило разработать методику расчета сферических роликовых передач с промежуточными телами качения и создать на ее основе опытные образцы редукторных механизмов с передаточными отношениями 16...200 в одной ступени, для передачи мощностей до 5 кВт, высокого технического уровня по критерию массы, отнесенной к передаваемому моменту (менее 0,1 кг/(Н·м)), для малогабаритных приводов (с диаметром корпуса до 200 мм).

Официальный оппонент,
профессор кафедры «Машиноведение
и детали машин» Белорусского
национального технического
университета,
д-р техн. наук, профессор



А.Т. Скойбеда

Личную подпись А.Т. Скойбеда удостоверю



от зав института в совет 20.04.23
д-р инженер Я. Двойно В.

С отзывом ознакомлена
20.04.2023 г. Е.С. Мухоморова