

**"УТВЕРЖДАЮ"**



Ректор ФГБОУ ВО "Ковровская  
государственная технологическая академия  
им. В.А. Дегтярева", д.э.н.

Лаврищева Е.Е.

16 декабря 2024г.

### **Заключение**

ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева» о диссертации соискателя Карпенко Андрея Борисовича на тему «Разработка и исследование методики отбраковочных испытаний механизмов точного позиционирования по критерию плавности вращения», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.2 «Машиноведение»

Карпенко А.Б. закончил в 1995 г. Ковровский технологический институт по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» и в 1998 г. аспирантуру при Ковровской государственной технологической академии по специальности 05.02.03 «Системы приводов». С 1999 года работает в ОАО «СКБ ПА», где прошел путь от рядового инженера-конструктора до начальника конструкторского бюро, и занимается проектированием различных механических и электро-механических устройств, в том числе и редукторов для высокоточных следящих систем. В силу специфики работы Карпенко А.Б. хорошо знаком с нюансами конструирования и спецификой работы механических передач в составе следящих электроприводов, работает в направлении использования современных методов диагностики для повышения их технических характеристик. Является автором 8-ми патентов на изобретение и 1 патента на полезную модель.

Соискатель Карпенко А. Б. успешно сдал экзамены кандидатского минимума: «История и философия науки» – отлично; иностранный язык (французский) – отлично; специальная дисциплина – хорошо.

Научный руководитель соискателя – Даршт Яков Адольфович, доктор технических наук, профессор кафедры «ГПА и ГП» ФГБОУ ВО «КГТА им. В.А. Дегтярева».

По итогам обсуждения результатов диссертационной работы Карпенко А. Б. на межкафедральном семинаре принято следующее заключение:

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложены проблемы современного состояния объекта и предмета исследований. Сформулированы цель и

задачи исследования, новизна, теоретическая и практическая значимость работы, применяемые методы решения. Представлены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены результаты аналитических исследований используемых критериев плавности вращения редукторов и рассмотрены методы ее контроля. На основе этих исследований и обзора литературы по вопросам первичных причин не плавности делается заключение об актуальности данной работы и формулируется её цель.

Во второй главе установлено, что под плавностью вращения редуктора необходимо понимать крутильные колебания выходного вала, вызванные кинематическими погрешностями зубчатых пар, проявляющиеся также повышенным трением, шумом и вибрацией. Следовательно, плавность вращения редуктора может быть оценена с применением информационно-измерительных средств технической диагностики, измеряющими параметры внутриузлового колебательного процесса механизма. Предложена функциональная модель редуктора, учитывающая технологические погрешности изготовления кинематических пар и трение между элементами, которое состоит из упругой и вязкой составляющей.

В третьей главе предложена методика определения плавности вращения редукторов и способы ее обеспечения. В основу методики положен обобщенный алгоритм, базирующийся на сравнении спектра внутриузловой вибрации испытуемого редуктора с эталонным спектром, полученным на аналогичном редукторе с удовлетворительной плавностью вращения. Необходимость применения алгоритма предопределена отсутствием нормативной информации по допустимым уровням вибрации для зубчатых передач в зависимости от нормы плавности. В ходе исследования следящих электроприводов на комплексном стенде экспериментально определены предельные значения параметров вибрации редукторов, которые являются эталонными. В результате анализа спектра вибрации определены предельные значения виброскорости для каждого диапазона частот и построен опорный спектр, который является критерием плавности. Опорный спектр получен путем придания отдельным узким диапазонам, соответствующим диапазонам частот кинематических пар, максимального значения. Оценка плавности вращения редуктора определяется как разность амплитуды колебаний корпуса эталонного и испытуемого редукторов в диапазоне частот зубозацепления. По результатам работы получен патент РФ на изобретение № 2765520 «Способ определения плавности вращения редуктора». Экспериментально установлена зависимость вибрации редуктора от времени внутриузловой прикатки кинематических пар. В результате проведения технологической операции внутриузловой прикатки удалось достигнуть кратного снижения вибрации на каждой кинематической передаче, а следовательно, повысить плавность вращения механизма. Для получения наилучших показателей плавности вращения проведены исследования по влиянию типа смазочного материала на плавность вращения редуктора,

проявляющуюся вибрацией. В результате исследования установлено, что на тихоходных ступенях редуктора, где частота зубозацепления не превышает 200 Гц, наиболее эффективно демпфируют энергию вибрации консистентные смазки, поскольку их вязкость больше и толщины смазочного слоя достаточно для заполнения основной части бокового зазора в передаче, вследствие чего плавность работы кинематической пары возрастает. Использование предложенной методики обеспечивает возможность на основе анализа спектра внутриузловых колебаний произвести подбор смазки редуктора для обеспечения максимальной плавности его вращения.

В четвертой главе представлены результаты виртуальных исследований с использованием разработанной имитационной модели редуктора, а также результаты внедрения в производственный цикл предприятия ВПК разработанных методик. Проведены виртуальные исследования плавности вращения редуктора для двух типов смазочного материала – минерального масла и консистентной смазки при различных угловых скоростях приводного двигателя. В качестве критерия плавности используется амплитуда вибрации на частотах зубозацепления 1-й и 2-й ступени. В результате исследования установлено:

- плавность вращения механизма, вызванная трением в кинематических парах, зависит от типа смазочного материала и проявляется колебаниями частоты вращения выходного звена;
- для достижения наилучших показателей плавности вращения необходимо применение консистентного смазочного в зубчатой паре, расположенной в конце кинематической цепи механизма.

Опираясь на проведенные в работе экспериментальные исследования разработан алгоритм проверки механизмов точного позиционирования для следящего электропривода. Алгоритм основан на разработанном методе определения плавности вращения редуктора (Патент № 2765520) и обеспечивает достижение требуемой плавности за счет уменьшения технологических погрешностей изготовления деталей и их сборки. Использование этого алгоритма позволило повысить объективность контроля качества изготовления редукторов и добиться требуемого уровня плавности вращения. Для реализации методики разработан и изготовлен стенд. Предложенная методика проверки механизмов опробована при изготовлении и испытаниях редукторов для высокоточных следящих ЭП на территории АО «КЭМЗ», разработанных в рамках различных ОКР в ОАО «СКБ ПА» г. Ковров. Результаты испытаний подтвердили эффективность методики.

В заключении указано, что в диссертации решена важная для предприятий ВПК проблема, направленная на снижение погрешности позиционирования электроприводов мобильных объектов через разработку методики отбраковочных испытаний механизмов,

входящих в их состав. Даны рекомендации по дальнейшему развитию тематики данного научного направления в части разработки необходимого в настоящее время метода оценки технического состояния механизмов точного позиционирования электроприводов в процессе эксплуатации.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертационной работе**

Достигнутые научные результаты, изложенные в диссертации, получены соискателем Карпенко А. Б. лично. Формулирование цели и постановка решаемых научных и прикладных задач, а также разработка планов исследования и анализ достигнутых результатов выполнены соискателем самостоятельно под руководством научного руководителя. Разработанные и сформулированные Карпенко А. Б. теоретические положения, выносимые на защиту, а также результаты научно-практического исследования вносят существенный вклад в решение актуальных производственных задач для предприятий отечественного машиностроения в части обеспечения плавности вращения механизмов точного позиционирования.

#### **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Правомерность и адекватность основных научных результатов, достигнутых в диссертационной работе, подтверждена данными выполненными соискателем Карпенко А. Б. научно-теоретических, прикладных и экспериментальных исследований. Основные достижения диссертационной работы не противоречат данным фундаментальных исследований отечественных и зарубежных ученых в области теории зубозацепления и вибрационной диагностики. Достоверность научных результатов определена независимой экспертизой опубликованных статей в ведущих рецензируемых российских и международных научных изданиях. Научно-практическая ценность работы подтверждена рецензентами журналов и сборников трудов научных конференций международного и российского уровня, а также экспертами ФИПС РФ информационно-патентной новизны результатов исследования.

#### **Новизна и практическая значимость результатов исследования**

В рамках данной диссертационной работы получены следующие новые научные достижения и отличия:

1. В результате выполненного аналитического исследования определены критерии и показатели плавности механизмов точного позиционирования мобильных объектов машиностроения, отличающиеся применением информационно-измерительных средств регистрации, контроля и оценки параметров внутриузлового колебательного процесса и характеристик вынужденной вибрации следящих электроприводов в рабочем диапазоне скоростей вращения редукторов.

2. Впервые разработанный метод определения плавности вращения редукторов основан на сопоставлении опорного спектра виброскорости внутриузловых колебаний с регистрируемым спектром в диапазоне частот зубозацепления и вращения валов редукторов в электроприводах и отличается возможностью оперативной отбраковки редукторов по критерию плавности вращения, а также возможностью выявления источников внутриузловых вибраций, предопределяющих погрешность позиционирования электроприводов мобильных объектов (Патент РФ № 2765520).

3. Разработанная методика создания редукторов с высокой плавностью вращения отличается выбором смазочного материала, основанным на регистрации внутриузловых колебаний отдельных ступеней кинематической цепи механизмов и необходимостью выполнения процедуры сопоставительного изучения вибрационных характеристик механизмов мобильных объектов с последующей реализацией процессов внутриузловой прикатки кинематических пар.

4. Разработанная имитационная модель механизма точного позиционирования следящего электропривода отличается возможностью проведения виртуального исследования закономерностей влияния внешних и внутренних физико-механических и спектрально-частотных динамических воздействующих факторов колебательного движения на плавность вращения редукторов с учетом технологических погрешностей изготовления деталей и кинематических пар.

5. Разработанные методики и результаты исследований отличаются востребованностью на предприятиях ВПК при изготовлении высокоточных механизмов электромеханических приводов мобильных объектов машиностроения.

#### **Ценность научных работ автора**

Полученные в диссертационной работе результаты имеют как теоретическую, так и практическую значимость. Значимость работы состоит в разработке критерия плавности вращения редуктора как спектральной характеристики, количественной оценки плавности, внедрением соответствующих методик в производственную деятельность АО «КЭМЗ» и ОАО «СКБ ПА» г. Ковров. С использованием разработанного контрольного стенда-нагрузателя по предложенной автором методике контроля проходят испытания редукторы для использования в технике специального назначения (КЭМЗ г. Ковров). Разработанная имитационная модель редуктора составила теоретическую основу методик обеспечения плавности вращения, а разработанный метод проверки плавности вращения редуктора на стадии его изготовления является новым в сфере решения задач повышения точности позиционирования следящего электропривода. Результаты диссертационной работы составили теоретическую базу для исследований, проводимых в КГТА. Материалы работы использованы в учебном процессе

КГТА в курсах ГПА и СА (каф. ГПА и ГП). Научно-практическая значимость работы подтверждена рецензируемыми публикациями в журналах и сборниках научных трудов, докладами на научных конференциях международного и российского уровня, а также патентом РФ на изобретение.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных автором**

Основные положения и результаты диссертационного исследования соискателя Карпенко А. Б. отражены в 12-ти публикациях научных работ, в том числе 4 опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, 7 публикаций в сборниках всероссийских и международных научно – технических конференций, получен один патент на изобретение «Способ определения плавности вращения редуктора».

**Соответствие паспорту специальности** – содержание диссертации соответствует п. 5 «Методы исследования и оценки технического состояния объектов машиностроения, в том числе на основе компьютерного моделирования» паспорта научной специальности 5.2.2 – «Машиноведение» (технические науки).

Диссертация Карпенко Андрея Борисовича «Разработка и исследование методики отбраковочных испытаний механизмов точного позиционирования по критерию плавности вращения» является завершенной научной работой, обладающей внутренним единством, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.2 «Машиноведение».

Заключение по диссертационной работе Карпенко А. Б. рассмотрено и принято к утверждению единогласно на межкафедральном семинаре ученых и специалистов выпускающих кафедр «Технология машиностроения», «Приборостроение», «Гидропневмоавтоматика и гидропривод». Дата заседания 03.04.2024 г.; Протокол заседания №3. От 03.04.24

Присутствовали на заседании и участвовали в обсуждении диссертационной работы:

от кафедры ГПА и ГП КГТА: зав. Кафедрой Косорукова О.В., д. т. н., профессор Халатов Е.М., д. т. н., профессор Даршт Я.А., д.т.н., к. т. н., доцент Овчинников Н.А., к.т.н. доцент Артемов В.В., от кафедры «Технология машиностроения» д.т.н., профессор Житников Ю.З., от кафедры «Приборостроение» д.т.н., профессор Симаков А.Л., от ВНИИ «Сигнал» (г. Ковров): к.т.н. Пузанов А.В., от ОАО "СКБ ПА" (г. Ковров):, к.т.н Черняков А.А.

Заведующий кафедрой ГПА и ГП,  
к. т. н.

  


О. В. Косорукова

Секретарь, доцент

Н. А. Овчинников