



Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное автономное учреждение

**ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е.Жуковского
ФАУ «ЦАГИ»**

Жуковского ул., д. 1, г. Жуковский, Московская область, 140180
тел.: +7 495 556-4303, факс: +7 495 777-6332, www.tsagi.ru
ОГРН 1225000018803, ИНН 5040177331, КПП 504001001, ОКПО 50205960

23.08.2022 № 21/15-10-4479

На № _____ от _____

Отзыв на диссертацию

Ученому секретарю
Диссертационного совета
ДС 212.125.07
Д.С. Дежину

125993, А80 г. Москва, ГСП-3
Волоколамское шоссе, д. 4

Уважаемый Дмитрий Сергеевич!

Направляю Вам отзыв официального оппонента Кувшинова В.М. на диссертационную работу ПОДШИБНЕВА Владимира Александровича на тему «Методика проектирования исполнительного механизма привода на основе волновой передачи с телами качения с заданным уровнем виброускорения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Приложение: отзыв экз. № 1 и 2, на 6 листах каждый.

Начальник комплекса безопасности полетов
ФАУ «ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского»

В.Л. Суханов

003686

Исп. Кувшинов В.М. 495-556-41-94

Отдел документационного
обеспечения МАИ

24.08.2022

В диссертационный совет Д212.125.07, созданный на базе ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д 4.

ОТЗЫВ

Официального оппонента кандидата технических наук, заместителя начальника отделения Федерального автономного учреждения «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ ЦАГИ) Кувшинова Владимира Михайловича на диссертационную работу Подшибнева Владимира Александровича «Методика проектирования исполнительного механизма привода на основе волновой передачи с телами качения с заданным уровнем виброускорения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Одним из наиболее перспективных путей развития авиации является использование концепции так называемого «полностью электрического» (ПЭС) или «более электрического» самолета (БЭС). Одним из элементов данной концепции является отказ от использования на борту самолета гидравлических систем и, соответственно, гидравлических рулевых приводов и переход к использованию приводов с электрическим силовым питанием, в частности, электромеханических приводов (ЭМП). Также необходимость использования ЭМП возникает для беспилотных ЛА небольшой размерности. Требования уменьшения массогабаритных показателей самолетных систем приводят к необходимости использования в ЭМП высокооборотных вентильных электродвигателей с последующим уменьшением скорости вращения или перемещения и увеличением силовых показателей применением редукторов различного типа (планетарных, шариковинтовых (ШВП), роликвинтовых (РВП)). При этом применение электромеханических приводов в авиационной технике обуславливает чрезвычайно высокие требования, предъявляемые ко всем их элементам, в том числе и к механическим передачам, по надежности и ресурсу.

В диссертационной работе рассматривается перспективный тип механических передач (редукторов) – волновая передача с телами качения (ВПТК), которая позволяет получить большое передаточное число при малом количестве элементов, обеспечить высокую жесткость и кинематическую точность. Эта передача может быть использована в составе электромеханических приводов систем управления летательных аппаратов. Одним из её преимуществ является возможность встраивания ЭМП с волновым редуктором непосредственно в оси вращения органов управления ЛА (рули высоты, элероны и др.) без использования преобразователей вращательного в поступательное движение (ШВП или РВП), что обеспечивает чрезвычайную компактность, простоту и надежность конструкции системы привод – орган управления.

Однако ряд свойств волновых передач исследованы в настоящее время не достаточно, особенно влияние числа тел качения в одном ряду и числа рядов на динамическую жесткость ВПТК и уровень возникающих в ВПТК вибраций. Первая характеристика определяют флаттерные свойства управляемого приводом органа управления, вторая – расходование ресурса конструкции привода. Отсутствие точных данных об этих характеристиках затрудняет обеспечение высокого качества проектирования ЭМП с ВПТК. На этом основании научная задача, заключающаяся в развитии теории волновой передачи с телами качения с учетом влияния периодически меняющихся параметров силового взаимодействия элементов конструкции ВПТК, и соответствующее уточнение методики проектирования ВПТК, являются актуальными.

2. Общая оценка содержания и оформления работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 59 наименований и приложений. Объем диссертации составляет 118 страниц, включая 46 рисунков, 9 таблиц.

Во введении (стр. 4-13) автором представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации. Проведен анализ известных методик проектирования ВПТК, выявлена недостаточная полнота существующих методик, составлена и проанализирована комплексная методика проектирования этого механизма. На основе данного анализа поставлена цель и сформулированы задачи диссертационного исследования. Отражены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных в диссертации результатов. Представлены сведения об апробации работы и основных публикациях.

В первой главе (стр. 14-29) автор дает оригинальную трактовку принципа действия ВПТК по аналогии с волновой передачей с гибким колесом и приводит математическую модель ВПТК, у которой малая центральная ось симметрии условного гибкого колеса, проходящего через центры тел качения, отслеживает положение суммарного вектора усилия, создаваемого волнообразователем. Приведены аналитические зависимости для определения величины контактных сил в механизме в зависимости от взаиморасположения элементов его конструкции. Показано наличие

неравномерности нагрузки между телами качения в одном ряду ВПТК, которое численно определено с помощью коэффициентов неравномерности распределения нагрузки. Выявлены зависимости амплитуды и периода пульсаций суммарного вектора усилия, создаваемого волнообразователем, и развиваемого момента от количества тел качения в одном ряду ВПТК, позволяющие использовать эти параметры на этапе синтеза конструктивно-кинематической схемы исполнительных механизмов на основе ВПТК.

Вторая глава (стр. 30-48) посвящена анализу крутильной жесткости ВПТК, влияющей на динамические характеристики электромеханического привода в целом. При достаточно реалистичных допущениях получены аналитические зависимости для определения крутильной жесткости ВПТК в режимах редуктора и мультипликатора, показывающие её периодическую зависимость от взаимного положения выходного и входного валов ВПТК. Для экспериментального подтверждения данных зависимостей разработан специальный испытательный стенд для снятия крутильной жесткости ВПТК. Представлены результаты экспериментальных исследований крутильной жесткости ВПТК, подтверждающие периодический характер ее изменения, и достаточно хорошо согласующиеся с аналитическими оценками. Выполнена гармоническая линеаризация полученных аналитических зависимостей крутильной жесткости ВПТК, позволяющая представить крутильную жесткость в удобном для практических расчётов виде и использовать её для расчета динамических характеристик привода на основе ВПТК.

В третьей главе (стр. 49-77) рассмотрено влияние неравномерности распределения нагрузки по рядам тел качения ВПТК на работу механизма. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено наличие неравномерности распределения нагрузки между рядами тел качения в ВПТК. Представлены аналитические зависимости, позволяющие определять коэффициент неравномерности распределения нагрузки по рядам ВПТК для различных конструктивно-кинематических схем. Уточнены формулы для расчета геометрических параметров ВПТК из условия требуемой прочности механизма и формулы для определения величины вектора суммарного усилия в каждом ряду и суммарного радиального усилия. Представлены аналитические зависимости, которые позволяют определить величины возмущающих воздействий, создаваемых суммарным радиальным усилием и действующих на конструкцию ИМ.

В четвертой главе (стр. 78-104) описывается влияние периодически меняющейся крутильной жесткости ВПТК на динамические характеристики исполнительного механизма на ее основе. Составлена математическая модель ВПТК, учитывающая периодически меняющуюся крутильную жесткость, которая может использоваться для анализа динамических характеристик ВПТК. На основе диаграммы Айнса-Стретта автором разработан способ проверки возможности возникновения неустойчивых параметрических колебаний в ВПТК и определена граница перехода от устойчивых параметрических колебаний к неустойчивым. В главе представлена

разработанная методика проектирования ВПТК с заданным уровнем виброускорения, исключая возможность возникновения неустойчивых параметрических колебаний. Приведены примеры применения предложенной методики для проектирования различных приводов на основе ВПТК.

Каждая глава диссертации заканчивается «Выводами к главе», в которых отражаются основные результаты, полученные в данной главе.

В заключении (стр. 105-106) приведены основные результаты диссертационного исследования в целом.

Текст автореферата и диссертации написан технически грамотным языком.

Содержание автореферата соответствует тексту диссертации и достаточно полно его отражает.

Основные материалы диссертации опубликованы в 17 печатных работах, в том числе 3 – в журнале, рекомендованном ВАК РФ, имеется 4 патента Российской Федерации на изобретение, что соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям.

3. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и их достоверность.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе, а также их достоверность подтверждены:

- использованием в исследованиях фундаментальных методов теоретической механики, прочности и теории машин и механизмов;
- результатами экспериментальных исследований;
- внедрением полученных результатов в научно-исследовательскую работу АО МНПК «Авионика» и разработкой с их использованием ряда промышленных ЭМП на основе ВПТК;
- наличием патентов РФ на изобретения на исполнительные механизмы на основе ВПТК.

4. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Основанная научная новизна работы, по нашему мнению, заключается в следующем:

- разработана математическая модель ВПТК как следящей системы, позволяющая оценить зависимости амплитуды и периода пульсаций суммарного вектора усилия и развиваемого момента от конструктивных параметров ВПТК;
- получены и экспериментально подтверждены зависимости амплитуды пульсаций крутильной жесткости ВПТК от конструктивных параметров многорядной ВПТК;
- составлена математическая модель ВПТК, учитывающая периодически меняющуюся крутильную жесткость, которая может использоваться для анализа динамических характеристик ВПТК;

– разработана более полная методика проектирования исполнительного механизма привода на основе ВПТК с обеспечением требуемого уровня виброускорений, учитывающая неравномерность распределения нагрузки между телами качения в одном ряду и между рядами.

5. Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории волновой передачи с телами качения, а именно, учете нестационарных параметров работы ВПТК, таких как развиваемое радиальное усилие, развиваемый момент и крутильная жесткость.

6. Практическая значимость работы

Практическая значимость работы заключается в следующем.

1. Полученные результаты дают возможность расчета величины возмущающих воздействий, создаваемых ВПТК и вызывающих вибрации корпуса исполнительного механизма и расположенных на нем элементов. Это позволяет производить расчет повреждаемости и расходования ресурса конструкции самого исполнительного механизма и элементов его крепления к конструкции летательного аппарата, а также выполнять проектирование ВПТК и элементов крепления привода с учетом требований по ресурсу.

2. Предложенная математическая модель ВПТК, учитывающая периодически меняющуюся крутильную жесткость, может использоваться для анализа динамических характеристик ВПТК и рулевого привода в целом, а также его взаимодействия с аэроупругой конструкцией ЛА. В частности оценки динамической жесткости могут использоваться для более точного расчета характеристик рулевого флаттера на ранних стадиях проектирования ЛА.

3. Использование предложенной автором методики проектирования ВПТК позволяет производить прочностной расчет конструкции исполнительного механизма на основе ВПТК более точно, что расширяет функциональные возможности и область применения таких механизмов.

7. Основные замечания по диссертации и автореферату

1. В работе не приведен сравнительный анализ величин радиальных и осевых сил, создаваемых в ВПТК, по сравнению с другими типами механических передач, которые могут быть использованы в составе исполнительного механизма привода.

2. В главе 2 представлены результаты линеаризации аналитических зависимостей, определяющих крутильную жесткость ВПТК, без учета неравномерности распределения нагрузки по рядам тел качения, рассмотренного в главе 3.

3. При математическом описании и моделировании параметрических колебаний, вызванных нестационарным характером крутильной жесткости в исполнительном механизме на основе ВПТК, автором не учитывался люфт в механической передаче.

4. В главе 4 (рисунок 4.6) представлена блок-схема методики проектирования исполнительного механизма на основе ВПТК, в которой не раскрыт алгоритм расчета подшипников по грузоподъемности.

5. Имеются отдельные редакционные недостатки текста диссертации и автореферата, затрудняющие их понимание, а также синтаксические ошибки.

8. Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, в целом диссертация Подшибнева Владимира Александровича «Методика проектирования исполнительного механизма привода на основе волновой передачи с телами качения с заданным уровнем виброускорения» является законченной научно-исследовательской работой, выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой комплекс научных исследований и решений актуальных проблем в области машиноведения, систем приводов и деталей машин. Предложенная автором методика проектирования исполнительного механизма привода на основе волновой передачи с телами качения развивает теорию волновых передач и имеет большое практическое значение для развития машиностроения, в частности, авиастроения.

Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук Положением о порядке присуждения учёных степеней, утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, а ее автор, Подшибнев Владимир Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Отзыв составлен заместителем начальника НИО-15 ФАУ «ЦАГИ», кандидатом технических наук Кувшиновым Владимиром Михайловичем.

Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского» (ФАУ ЦАГИ), 140180, г. Жуковский, Московская область, ул. Жуковского, д. 1, тел.: 495-556-41-94, электронная почта: vmkouvsh@yandex.ru

Официальный оппонент
кандидат технических наук

В.М. Кувшинов

Подпись _____ Кувшинова Владимира Михайловича _____ удостоверяю

(фамилия имя отчество оппонента полностью)

Начальник управления персоналом
(должность)



(подпись)

О.А. Власова
(Ф.И.О.)

С отзывом ознакомлен 24.08.2027