

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д.212.125.07 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКИЙ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ) ПО ДИССЕРТАЦИИ  
КРЫЛОВА НИКОЛАЯ ВАЛЕРЬЕВИЧА НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Диссертация «Исследование жёсткости и прочности волновой передачи с телами качения электромеханического силового привода летательного аппарата» в виде рукописи по специальности 05.02.02 - «Машиноведение, системы приводов и детали машин» выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» на кафедре «Системы приводов авиакосмической техники».

Диссертация принята к защите «30» сентября 2014 г., протокол №6.

Соискатель Крылов Николай Валерьевич, гражданин Российской Федерации, ассистент на кафедре «Системы приводов авиакосмической техники» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); в период подготовки диссертации работал инженером на кафедре «Системы приводов авиакосмической техники» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет).

В 2011 году соискатель окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский авиационный институт (государственный технический университет).

Научный руководитель – доктор технических наук Самсонович Семён Львович, профессор кафедры «Системы приводов авиакосмической техники» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет).

**Официальные оппоненты:**

1. Горячев Олег Владимирович, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы автоматического управления» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тулский государственный университет»;
2. Дмитриев Андрей Владимирович, гражданин Российской Федерации, кандидат технических наук, заместитель технического директора Открытого акционерного общества «Мичуринский завод «Прогресс»;

дали положительные отзывы о диссертации.

**Ведущая организация** Открытое акционерное общество «Государственное научно-производственное предприятие «Регион», г. Москва, дала положительное заключение (заключение составлено Грумондзом Валерием Тихоновичем, доктором физико-математических наук, начальником отдела аэродинамики).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв официального оппонента Горячева О.В., доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Системы автоматического управления ТулГУ. Замечания: предлагаемая математическая модель электромеханического привода с двухступенчатым редуктором, включающим волновые передачи с телами качения, содержит блок

контроллера, основанный на PID-регуляторе, который может работать как в непрерывном, так и в дискретном режимах, как отмечает автор. В диссертации проводится анализ динамических характеристик привода с контроллером, работающим с пропорциональным усилением и в непрерывном режиме, хотя актуальные для современных цифровых систем управления дискретный режим и пропорционально-интегральное усиление не рассмотрены. Также не проанализировано влияние на статические и динамические характеристики привода с ВПТК дискретизации сигналов по времени и уровню, имеющих место в современных цифровых системах управления.

Отзыв официального оппонента Дмитриева А.В., кандидата технических наук, заместителя технического директора ОАО «Мичуринского завода «ПРОГРЕСС». Замечания: В диссертационной работе автор показывает, что разработанная им методика силового расчёта волновой передачи с телами качения позволяет найти её КПД, однако в работе не представлено расчётных данных о значениях КПД и его зависимости от момента нагрузки. В главе 2.2 автор приводит результаты анализа методом конечных элементов, но не указывает какие параметры сетки и методы решения системы линейных алгебраических уравнений были применены.

Отзыв ведущей организации ОАО «Государственное научно-производственное предприятие «Регион», составлен Грумондзом В.Т., доктором физико-математических наук, начальником отдела аэродинамики, и утверждён Крыловым И.В., кандидатом технических наук, генеральным директором ОАО «ГНПП «Регион». Замечания: в диссертационной работе не рассмотрено влияние изменения температуры в условиях эксплуатации авиационной техники на работоспособность, жёсткость и прочность ВПТК, т.е. не предложен алгоритм выбора рациональной величины люфта.

Отзыв Оболенского Ю.Г., доктора технических наук, профессора, начальника отделения автоматических и дистанционных систем управления Инженерного центра «ОКБ им. А.И. Микояна» Акционерного общества «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ». Замечания: на стр. 16

указано «анализ характеристик показал, что увеличение жесткости и уменьшение люфта выходной ступени редуктора приводит к увеличению запаса по фазе с  $60^\circ$  до  $95^\circ$ », но не приведены разомкнутые амплитуднофазочастотные характеристики, подтверждающие данный тезис автора.

Отзыв Сильченко П.Н., доктора технических наук, профессора, заведующего лабораторией «Механические системы космических аппаратов» кафедры «Прикладная механика» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». Замечания:

1. На стр. 8 в постановочной части указано, что «При анализе и синтезе схем механических передач механизм представляется в виде расчётной схемы, состоящей из ряда сосредоточенных масс, которые обладают моментом инерции, и соединительных упругих связей.»

1-й вопрос. Как учитываются зазоры в расчётной схеме, модели и в выражениях для  $\varphi$ ?

2. На этой же стр. 8 сказано: «Было установлено, что передаточное число по моменту меняет своё значение в зависимости от знака угловой скорости входного вала и знака момента на входном (выходном) валу. Это связано с тем, что при работе ВПТК часть момента тратится на преодоление сил трения.»

Далее автором указывается (стр. 10). «Основой методики силового расчёта ВПТК является расчёт контактных напряжений, который служит для построения её характеристики передаваемого момента и нагрузочной характеристики, определения люфта и КПД, и...»

«... увеличение коэффициента вязкого трения ВПТК увеличивает колебательность контура привода; влияние вида характеристики передаваемого момента на динамику привода незначительно» (стр. 14).

2-й вопрос. Из автореферата не ясно, как в зависимостях на стр. 9 и 10 учтено трение и КПД?

3-й вопрос. В автореферате не обнаружено, каким образом учитывается КПД в математической модели и при проектировании и расчете конкретной волновой передачи?

Отзыв Петрусёва В.И., кандидата технических наук, заместителя генерального конструктора, «Корпорации «Московский институт теплотехники». Замечания: в изложении первой главы диссертации приведено подробное описание физической модели волновой передачи с телами качения, а также математическое описание характеристик. Однако в дальнейшем приведённые формулы не используются. В то же время, силовой расчёт передачи, необходимый для создания завершённого расчётного методического материала, автором представлен не достаточно полно из-за отсутствия ряда формул.

Отзыв Ситина Д.А., кандидата технических наук, начальника расчётно-технического отдела электрических машин департамента систем электроснабжения ОАО «Авиационное оборудование». Замечания: не сформулированы объект и предмет исследований. Не сформулирован в явном виде личный вклад соискателя. Не дано определение термина «петлеобразный механизм» (термин на настоящий момент не имеет широкого распространения).

Отзыв Косьянчука В.В., доктора технических наук, начальника лаборатории ГНЦ РФ ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем». Замечания: в приведённых в 3 главе логарифмических частотных характеристиках не представлены характеристики для разомкнутого привода, что не даёт наглядного представления об указанных в тексте величинах запаса по фазе.

Отзыв Козлова В.В., кандидата технических наук, начальника отдела РЭА, ЗАО «АэроЭлектроПривод». Замечания: на странице 16 автор излагает, что увеличение коэффициента вязкого трения ВПТК приводит к увеличению колебательности контура привода. Это в свою очередь противоречит известному влиянию трения в передачах привода, где при увеличении трения колебательность контура привода уменьшается.

**В дискуссии приняли участие:** Ю.Г. Оболенский, Б.Н. Попов, В.И. Лалабеков, А.В. Левин, А.В. Кривилев, В.С. Степанов.

Соискатель имеет 18 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 17 научных работ общим объёмом 12,8 печатных листов, в том числе 5 статей в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Соискателю выдано 4 патента на изобретения:

1. Планетарно-цевочный редуктор, Патент РФ №2491454. Оpubл.: 27.08.2013 Бюл. №24. Крылов Н.В., Борисов М.В., Степанов В.С., Самсонович С.Л.
2. Волновой редуктор с эксцентриковыми роликами, Патент РФ №2491455. Оpubл.: 27.08.2013 Бюл. №24. Крылов Н.В., Борисов М.В., Степанов В.С., Самсонович С.Л.
3. Силовой мини-привод петлеобразной формы, Патент РФ №2519612, Оpubл. 20.06.2014. Бюл. №17. Крылов Н.В., Борисов М.В., Степанов В.С., Самсонович С.Л., Довгаленок В.М., Левин А.В., Ситин Д.А., Мамаев Г.А., Фролов А.В., Грачёв Д.С.
4. Электромеханический привод поступательного действия, Патент РФ №2526366, Оpubл. 20.08.2014. Бюл. №23. Крылов Н.В., Борисов М.В., Огольцов И.И., Оболенский Ю.Г., Степанов В.С., Самсонович С.Л.

Соискателем опубликовано 9 работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов; имеется 4 публикации в электронных научных изданиях.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Крылов Н.В., Степанов В.С., Самсонович С.Л., Анализ массогабаритных показателей электромеханических рулевых приводов с различными типами механических передач. Журнал «Известия Тульского государственного университета, Технические науки», вып. 1, Тула: изд-во ТулГУ, 2012 г.

2. Крылов Н.В., Баранов М. В., Борисов М. В., Корчагин О. А., Самсонович С.Л., Степанов В.С., О выборе скорости электродвигателя и передаточного числа редуктора привода руля направления транспортного самолёта. Электронный журнал «Труды МАИ» №62, Москва 2012 г.
3. Крылов Н.В., Степанов В.С., Самсонович С.Л., Автоматизированное проектирование волновых редукторов с телами качения. Электронный журнал «Труды МАИ» №62, Москва 2012 г.
4. Крылов Н.В., Борисов М.В., Левин А.В., Степанов В.С., Самсонович С.Л., Перспективы и проблемы создания электромеханических силовых миниприводов для нового поколения ЛА. Журнал «Авиационная промышленность» №3/2013. ОАО «Национальный институт авиационных технологий».
5. Крылов Н.В. О прочностном расчёте волновых передач с телами качения с вращательным движением выходного звена // Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 65. Москва, 2013 г.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются компетентными учёными в области диссертационного исследования, что подтверждается их научными публикациями. Выбор ведущей организации обуславливается широкой известностью её достижений в области научных исследований, рассматриваемых в диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**Разработана** методика силового расчёта волновой передачи с телами качения, позволяющая найти геометрические параметры передачи, удовлетворяющие условиям контактной прочности и требуемым динамическим характеристикам электромеханического привода на её основе.

**Предложена** и защищена патентом на изобретение новая конструктивная схема волновой передачи с эксцентриковыми роликами,

реализующая контакт между роликом и жёстким колесом по поверхности, что позволяет значительно уменьшить массу и габариты редуктора.

**Доказан** характер зависимостей между моментами на входном и выходном валах, а также между моментом нагрузки и углом закручивания нагружаемого вала для волновых передач с телами качения.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

– доказана эффективность применения разработанной методики проектирования волновой передачи с телами качения для улучшения массогабаритных и динамических характеристик электромеханического привода.

– применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе с использованием программных комплексов MATLAB/Simulink, SolidWorks.

– изложены тенденции развития авиационных приводных систем за счёт применения электромеханических силовых приводов вращательного действия.

– раскрыто, что существовавшие методики силового расчёта волновых передач с телами качения не соответствуют практическим результатам при использовании в качестве тел качения шариков.

– изучена связь параметров волновой передачи с телами качения с динамическими характеристиками электромеханического привода на её основе.

– проведена модернизация существующей математической модели волновой передачи с телами качения, позволившая получить новые теоретические результаты для электромеханического привода.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**



– разработаны и внедрены в учебный процесс и в научно-исследовательские работы МАИ основы комплексной методики расчёта волновой передачи с телами качения и схемы исполнительных механизмов приводов на основе волновой передачи с телами качения.

– определены перспективы использования разработанной методики при проектировании приводов летательных аппаратов нового поколения.

– представлены методические рекомендации по проектированию волновых передач с телами качения, позволяющие увеличить прочность и ресурс электромеханического привода с волновой передачей с телами качения.

#### **Оценка достоверности результатов выявила:**

– для экспериментальных работ – результаты получены на испытательном стенде Инженерного центра «ОКБ им. А.И. Микояна».

– теория подтверждается совпадением результатов экспериментальных исследований с результатами компьютерного моделирования в пределах допустимой для инженерной практики погрешности (10%).

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке методики расчёта волновых передач с телами качения; непосредственном участии соискателя в научных экспериментах, обработке и интерпретации экспериментальных данных; разработке экспериментальных стендов, выполненных при участии автора; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования, концептуальности и взаимосвязи выводов.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской

Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, и принял решение присудить Крылову Николаю Валерьевичу учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 4 доктора технических наук по специальности 05.09.01, 7 докторов технических наук по специальности 05.02.02, 1 кандидат технических наук по специальности 05.02.02, 7 докторов технических наук по специальности 05.09.03, участвовавших в заседании из 28 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени 19, против присуждения учёной степени 0, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя  
диссертационного совета

Пенкин В.Т.

Учёный секретарь  
диссертационного совета

Степанов В.С.

03.12.2014

