

.ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Попова Д.Н. по диссертации Алексеенкова А.С. «Улучшение динамических свойств и исследование рабочих процессов авиационного рулевого гидропривода с комбинированным регулированием скорости при увеличении внешней нагрузки», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук

В современной авиационной промышленности все более актуальными становятся проблемы, связанные с замещением в системах управления самолетом гидравлических устройств электрическими. Сначала в зарубежной печати были рассмотрены проекты так называемого «электрического самолета», в котором системы управления полетом вместо традиционно применяемых гидроприводов имели электроприводы. Однако по габаритам, массе и динамическим характеристикам электроприводы оказывались хуже гидроприводов с централизованными источниками питания жидкостью. С целью сокращения протяженности гидравлических линий от источника питания к гидроприводу и повышения надежности, которая зависит от источника питания, стали переходить к автономным гидроприводам. Такие гидроприводы позволяют расширить электрификацию систем управления самолетом и тем самым уменьшить его полетную массу, а также повысить топливную экономичность. Успешное решение указанной проблемы во многом зависит от того, насколько конкурентоспособными могут быть автономные гидроприводы по сравнению с гидроприводами, имеющими централизованные источники питания жидкостью. В число показателей, по которым сравнивают гидроприводы, входят динамическая жесткость, характеризующая реакцию гидропривода на изменение внешней нагрузки, а также статическая и динамическая точности при малых сигналах управления гидроприводом.

Благодаря достижениям электротехники и электроники в последние пятнадцать лет появилась возможность применения в автономных гидроприводах насосов с регулируемыми электродвигателями. Это позволяет при достаточно простых конструкциях объемных насосов создавать рулевые гидроприводы с объемно-дрессельным (комбинированным) регулированием. Такие гидроприводы могут служить основными исполнительными устройствами в системе управления самолетом или быть резервными для повышения надежности системы, рулевые гидроприводы которой подключены к централизованному источнику питания жидкостью. Объединение в одной конструкции (гибридное исполнение) этих двух типов гидроприводов является новым видом рулевого гидропривода, который разработан на кафедре «Системы приводов авиакосмической техники» №702 Московского авиационного института» (МАИ) при непосредственном участии автора рецензируемой диссертации. Рассмотренный в диссертации проектный вариант гидропривода, результаты теоретических и экспериментальных исследований, ориентированных на улучшение его характеристик, способствуют успешному решению проблемы большей электрификации систем управления самолетами, что подтверждает **актуальность** темы диссертации.

Научная новизна исследований, выполненных автором диссертации, состоит, по мнению оппонента, в следующем:

- Определено влияние алгоритмов управления гидроприводом на его частотные характеристики при комбинированном регулировании скорости выходного звена.
- Разработаны алгоритмы управления, при которых динамические характеристики гидропривода с комбинированным регулированием скорости выходного звена близки к характеристикам гидропривода только с дроссельным регулированием в области малых амплитуд входных сигналов при статической и медленно меняющейся нагрузке на выходное звено.

- Предложен метод оценки динамических свойств гидропривода с комбинированным регулированием скорости выходного звена по трехмерным графикам амплитудных и фазовых частотных характеристик.

Практическая значимость работы:

Предложенные в рецензируемой диссертации решения новых научно-технических задач позволяют:

- Улучшить динамические характеристики гидропривода с комбинированным регулированием скорости выходного звена и гибридного гидропривода в соответствии с требованиями к системам управления неустойчивыми и малоустойчивыми самолетами..
- Повысить надежность системы управления самолетом путем применения гибридных гидроприводов, обеспечивая тем самым разнородное резервирование энергетических каналов.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 7 глав, основных выводов и результатов работы.

Приложенный к диссертации список литературы содержит 55 наименований.

Диссертация представлена на 150 страницах машинописного текста.

Публикации

По теме диссертации опубликовано семь печатных работ. Из них четыре работы в изданиях, входящих в перечень ВАК.

Для оценки содержания диссертационной работы далее кратко рассматриваются ее разделы.

Введение, посвящено обоснованию общей характеристики рецензируемой диссертации. При этом названы ряд авторов и организаций, работы которых связаны с созданием электрифицированных систем управления самолетов. Обзор литературных источников и собственный опыт, приобретенный автором диссертации за время участия в НИР кафедры №702 МАИ, явились основой для проведения научных исследований, результаты которых представлены в диссертации. Приведенная в конце введения характеристика диссертации вполне соответствует содержащимся в ней материалам.

Однако для большей полноты результатов рассматриваемых при обзоре разработок представляется полезным начинать его с тех лет, когда был спроектирован один из первых гидроприводов с объемно-дроссельным регулированием (схожего по принципу действия с комбинированным регулированием скорости выходного звена, как назван такой гидропривод в рецензируемой диссертации). Принципиальная схема предложена оппонентом в 1962 г., а конструкция разработана Фомичевым В. М. в 1963 г. Этот гидропривод имел насос с клапанно – щелевым распределением жидкости. Расход жидкости регулировался перемещением втулок по плунжерам, которые при вращении вала насоса совершают возвратно - поступательное движение. Для вращения вала насоса применяется неререверсивный электродвигатель с постоянным числом оборотов. Такой насос служит источником питания жидкостью под давлением гидропривода с дроссельным регулированием скорости выходного звена. Управляющее движением выходного звена устройство состоит из линейно перемещаемого золотника и усилителя с соплом – заслонкой. Золотник механически связан со штоком, посредством которого вместе с золотником перемещаются втулки на плунжерах насоса. Благодаря малой массе подвижных частей механизма, регулирующего подачу насоса, рассмотренный гидропривод должен иметь высокое быстродействие и большой КПД по сравнению с обычным дроссельным гидроприводом. При частотном регулировании электродвигателя насоса вследствие инерции роторов насоса и электродвигателя. быстродействие автономного гидропривода с электрифицированным насосом может быть меньше, чем в случае насоса с механическим регулированием подачи.

Первая глава, содержит результаты обзора опубликованных работ, посвященных современным концепциям выбора конструктивных решений в области авиационных рулевых приводов с электрическим энергопитанием.. На основании этого обзора сделан вывод о том, что в настоящее время перспективными являются электрогидростатические, гибридные и электрогидравлические рулевые приводы с комбинированным регулированием скорости выходного звена. Этот вывод был бы более убедительным при наличии численных результатов сравнения характеристик предлагаемого гидропривода и описанного выше гидропривода с механическим регулятором подачи насоса..

Кроме того, автор диссертации здесь использует распространенный в технической литературе термин «электрогидростатические приводы», который с самого начала ошибочно был включен в перечень рекомендуемых терминов. А с развитием разделов по теории гидроприводов, в которых рассматриваются вопросы динамики объемных гидроприводов, такой термин становится неуместным.

Вторая глава, посвящена разработке экспериментального образца гибридного рулевого привода с комбинированным регулированием скорости выходного звена. Сформулированы задачи исследований. Построена функциональная схема экспериментального образца. Описаны четыре режима работы исследуемого гидропривода. Результаты экспериментов в виде характеристик, подтверждающих основные выводы, сделанные в конце главы, не приведены.

Третья глава, описано как создавалась математическая модель системы, достаточно сложной по своей структуре и ряду физических особенностей, которой является исследуемый гидропривод. По своей функциональной схеме данный гидропривод может работать в одном из двух режимов: режиме питания от централизованной гидравлической системы и в режиме питания от бортовой силовой электросети. Первый из этих режимов отнесен к обычным для гидравлических следящих приводов и в диссертации не рассматривается. Второй – имеет особенности, связанные с комбинированным регулированием скорости выходного звена, поэтому в диссертации он обоснованно выбран для математического моделирования.

При составлении математической модели учтено: влияние конструктивно-технологических факторов, изменение модуля объемной упругости жидкости в зависимости от давления и содержания в жидкости воздуха, наличие трения движения и трение покоя, как в двигателе регулятора, так и в нагрузке на выходное звено гидропривода. Для отдельных блоков в математической модели использованы экспериментальные характеристики. В структуре блока управления гидроприводом предусмотрены алгоритмы, улучшающие частотные характеристики гидропривода в области малых амплитуд входных сигналов при наличии нагрузки на выходном звене.

Четвертая глава, содержит описание экспериментального гибридного привода с комбинированным регулированием скорости выходного звена. Экспериментальный образец спроектирован при участии автора диссертации с учетом предложенных в ней рекомендаций. Образец изготовлен ОАО «ММЗ «Рассвет» в соответствии с техническим заданием, выданным кафедрой № 702 МАИ. Для испытаний экспериментального образца гидропривода был спроектирован и изготовлен стендовый комплекс, который целесообразно использовать также при обучении студентов не только в МАИ, но и в других вузах при подготовке инженеров, в учебные планы которых входят дисциплины по гидроприводам..

Пятая глава, посвящена экспериментальным исследованиям гидропривода с комбинированным регулированием скорости выходного звена. Цель исследований состояла в проверке соответствия полученных расчетом характеристик экспериментальным характеристикам. Результаты этого сравнения с точностью до 11 % удовлетворительные,

Шестая глава, посвящена уточнению математических моделей агрегатов, входящих в состав гидропривода с комбинированным регулированием скорости выходного звена. Расхождение между характеристиками, полученными при математическом моделировании, и экспериментальными характеристиками удалось свести к диапазону от 2% до 11%. Верхняя граница точности при разработке гидропривода для системы управления неустойчивым самолетом может быть недостаточной. Дальнейшего повышения точности результатов математического моделирования, вероятно, можно достичь, используя вместо типовых математических моделей устройств, входящих в состав гидропривода, модели, учитывающие индивидуальные свойства этих устройств.

Седьмая глава, является заключительной в рецензируемой диссертации. В ней представлены результаты теоретического исследования характеристик электрогидравлического рулевого привода с комбинированным регулированием скорости выходного звена при применении новых технологий управления. Автором диссертации предложен метод оценки преимущественного способа регулирования гидропривода с помощью его частотных характеристик. Для построения и анализа частотных характеристик гидропривода в диссертации разработан программный комплекс по изображению трехмерных образов амплитудно-фазовых частотных характеристик. Такие частотные характеристики облегчают конструктору осуществлять выбор параметров регулятора гидропривода в области малых входных сигналов.

Предлагаемые в диссертации способы улучшения статических, и динамических характеристик автономного гидропривода подтверждены результатами компьютерного моделирования и испытаниями исследовательского образца, созданного при непосредственном участии автора диссертации.

Проведенный анализ содержания диссертации позволяет заключить, что изложенная в начале диссертации общая характеристика работы полностью соответствует представленным в ней материалам...

Замечания, сделанные по отдельным разделам диссертации, для дальнейшего развития исследований в области автономных гидроприводов представляется полезным дополнить следующими рекомендациями:

1. решение задачи структурного и параметрического синтеза автономного гидропривода: проводить с помощью методов многокритериальной оптимизации управляемых систем;

2. оценивать точность результатов численного и экспериментального определения частотных характеристик с учетом нелинейности рассматриваемых систем;

3. в современной электротехнике применяют не только частотное регулирование угловой скорости вала электродвигателя, целесообразно было бы обосновывать выбираемый для автономного гидропривода способ.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Заключение по диссертации в целом. Несмотря на указанные выше замечания представленная к защите по специальности 05.02.02 диссертация несомненно удовлетворяет всем требованиям ВАК, поэтому ее автор Алексеенков Артем Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Доктор технических наук, профессор.
Заслуженный деятель науки РФ

18 ноября 2014 г. Д. Н. Попов)



РНО
ПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ
Э БАУМАНА
А.Г. МАТВЕЕВ