



Акционерное общество
**“Российская
самолетостроительная
корпорация “МиГ”
(АО “РСК “МиГ”)**

1-й Боткинский пр-д., 7, Москва, Россия, 125284
Тел.: (495) 721-81-00
Факс: (495) 653-14-47
E-mail: inbox@rsk-mig.ru, mig@migavia.ru
<http://www.rsk-mig.ru>
ОГРН 1087746371844
ИНН/КПП 7714733528/771401001

20.09.18 № 0167-12-34-2018

На № _____ от _____

По вопросу: отзыв на диссертацию

Направляю Вам отзыв официального оппонента Оболенского Юрия Геннадьевича на диссертацию соискателя Баженова Сергея Георгиевича на тему «Динамика цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления магистральных самолётов», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов»

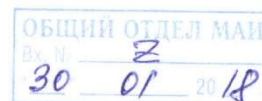
Приложение: Отзыв на диссертацию, два экз. на 9-ти листах каждый

Заместитель Главного конструктора:

Оболенский Ю.Г.

Отп. 2 экз.

Исп. Оболенский Ю.Г.



125813

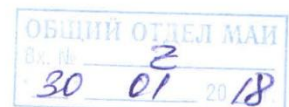
ОТЗЫВ

официального оппонента Оболенского Юрия Геннадьевича на диссертацию Баженова Сергея Георгиевича на тему «Динамика цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления магистральных самолётов», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации

Переход современной авиации на цифровые системы дистанционного управления (ЦСДУ) позволили реализовать многие их преимущества:

- возможность реализации алгоритмов управления практически любой сложности, в том числе «интеллектуальных» (нелинейных, самонастраивающихся, оптимальных), а также возможность практической реализации астатических законов управления в резервированных системах;
- обеспечение безопасности полета за счет многократного функционального резервирования информации посредством межмашинного обмена;
- существенное увеличение гибкости построения системы в части сопряжения ручных и автоматических режимов управления;
- осуществление контроля входной информации от внешних систем и гибкое построение связей с бортовым оборудованием;
- сокращение аппаратных затрат, уменьшение массы и габаритов системы;
- уменьшение расхода средств и времени на проведение доработок и модернизации;
- сокращение затрат на обслуживание и существенное увеличение его удобства за счет перехода к эксплуатации по состоянию посредством реализации глубокого автоматического предстартового



контроля и отсутствия необходимости в контрольно-проверочной аппаратуре.

В то же время при использовании ЦСДУ необходимо учитывать их особенности, серьезно влияющие на качество управления и характеристики устойчивости и управляемости. В первую очередь это наличие квантования сигналов по времени и уровню, асинхронность работы подканалов, вследствие чего необходимо выравнивать информацию между каналами, множество тактов обновления информации и выполнения операций.

Рассмотрению влияния этих особенностей на динамику управления современными магистральными самолётами и посвящена диссертационная работа Баженова С.Г., что делает её весьма **актуальной**.

Объектом исследования являются современные неманевренные самолеты, оборудованные цифровыми системами дистанционного управления, которые реализуют высокий уровень автоматизации управления.

Предметом исследования являются методы и средства исследования сложных резервированных асинхронных, многотактных ЦСДУ самолетов, особенности их динамики, методы синхронизации работы каналов ЦСДУ и оценка их влияния на динамические свойства элементов ЦСДУ, на устойчивость замкнутой системы «самолет-ЦСДУ» и на эффективность работы системы контроля.

Научная новизна основных результатов исследований

К основным научным результатам, определяющим теоретическую значимость диссертационной работы, следует отнести:

1. Разработан общий подход к частотному анализу цифровых резервированных, асинхронных, многотактных систем с учетом выравнивания информации по линиям межмашинного обмена.
2. Проведен детальный анализ динамики многотактных систем для двух практически важных видов многотактности.
3. Обнаружен факт влияния реализуемой циклограммы на структуру эквивалентной передаточной функции системы.

4. Предложены методы обеспечения согласованной работы каналов системы управления и разработаны алгоритмы выравнивания информации и синхронизации состояний.
5. Предложен подход к выбору параметров системы контроля, обеспечивающий максимальную эффективность контроля и выполнение требований к вероятности ее ложного срабатывания.
6. Получены двумерные распределения рассогласований между каналами, которые позволили обоснованно выбрать параметры системы контроля и обеспечить ее эффективную работу.

Теоретическая значимость работы. Определена структура передаточной функции, определяющей устойчивость системы «самолет - цифровая резервированная СДУ», выявлена нелинейная зависимость устойчивости от коэффициентов усиления системы и сделана оценка ее влияния. Получены аналитические выражения для эквивалентной передаточной функции двухканальной цифровой системы управления с прямой цепью, интегралом и апериодическим фильтром с учетом выравнивания информации. Предложен метод структурной декомпозиции многоконтурных систем для анализа резервированных систем управления самолета.

Практическая значимость. С помощью разработанных методов анализа сложных цифровых систем выполнен расчет областей устойчивости замкнутой системы «самолет - резервированная ЦСДУ», динамических характеристик и эталонных частотных характеристик, которые были использованы при синтезе, отработке и квалификационных испытаниях реальных систем управления самолетов Ту-204, Ту-334, SSJ-100. Создано программное обеспечение для частотного анализа цифровых резервированных, асинхронных, многотактных систем с выравниванием информации по линиям межмашинного обмена. Предложены методы выравнивания информации и синхронизации состояний каналов резервированной ЦСДУ. Разработанная методика получения и использования

двумерных распределений рассогласований между каналами позволило выбрать параметры системы контроля ЦСДУ самолета Сухой Суперджет-100 для обеспечения ее эффективной работы.

Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Все теоретические положения, выводы и рекомендации диссертации в достаточной степени обоснованы. Обоснованность научных результатов подтверждается корректностью принятых допущений и корректностью применения, выбранных математических методов исследования (методы современной теории управления, методы частотного анализа технических систем, теории конечных автоматов, теории случайных процессов и цепей Маркова, статистического анализа данных лётных испытаний, методы математического и полунатурного моделирования).

Достоверность основных теоретических положений и принятых в диссертации технических решений по созданию цифровых систем дистанционного управления магистральными самолётами, подтверждается результатами математического моделирования и экспериментальными материалами лётных испытаний.

Содержание и оформление диссертации:

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и содержит два приложения. Основной материал диссертации изложен на 314 страницах машинописного текста, а также включает 163 рисунка, 12 таблиц, список литературы из 96 наименований.

Каждая из пяти глав посвящена одному из аспектов исследований современных цифровых систем дистанционного управления магистральных самолётов и в совокупности они дают не только полное представление о тех особенностях и проблемах создания цифровых систем, с которыми придется столкнуться разработчику, но и показывают пути их решения.

В **первой** главе описан предмет исследования, сделан обзор современного построения и функционирования цифровых систем

дистанционного управления магистральных самолетов. Представлены основные требования, предъявляемые к самолету с ЦСДУ, описан современный подход к разработке интегрированных систем авионики. Подробно рассмотрены функции ЦСДУ, включая обеспечение заданной управляемости, автобалансировку в продольном канале, ограничение параметров движения, а также ряд функций, повышающих комфортность управления (парирование возмущений, совмещенное управление и др.). Определены основные особенности построения и функционирования ЦСДУ, которые необходимо учитывать при анализе устойчивости и управляемости самолета. Среди них – асинхронность работы многочисленных цифровых датчиков, систем, вычислителей и линий связи, многотактность, т.е. присутствие разных периодов обновления информации, использование межканального обмена для обеспечения идентичности вычислительных процессов и синхронизации состояний каналов ЦСДУ.

Во **второй** главе рассмотрены особенности динамики асинхронной системы управления в одноканальном варианте. Рассмотрены временные циклограммы работы основных трактов передачи информации современных ЦСДУ и требования к максимальным допустимым запаздываниям. Допустимые запаздывания определены из условия обеспечения запасов устойчивости замкнутой системы «самолет-СДУ» и требуемого качества переходных процессов (колебательность, время первого срабатывания, перерегулирование, наличие высокочастотных составляющих), а также, исходя из необходимости построения эффективной системы контроля, где сравниваются сигналы разных каналов. Рассогласование между каналами содержит случайную и асинхронную составляющие и их распределения позволяют провести оценку максимальных допустимых периодов обновления информации. Проведен анализ влияния метода интегрирования на частотные характеристики динамических звеньев и сформулированы рекомендации по реализации динамических звеньев.

В **третьей** главе рассмотрено влияние асинхронности, выравнивания

информации и многотактности на динамические характеристики многоканальной цифровой системы управления и устойчивость замкнутой системы «самолет-ЦСДУ». Обнаружено различие между передаточной функцией, определяющей устойчивость замкнутой системы «самолет - многоканальная асинхронная ЦСДУ» и передаточной функцией системы, разомкнутой в общей точке непрерывной части. Показано, что передаточная функция, определяющая устойчивость является нелинейной функцией коэффициентов усиления, что создает некоторые проблемы при анализе устойчивости с помощью запасов устойчивости по амплитуде и фазе. Показано, что передаточная функция разомкнутой системы является линейной частью передаточной функции, определяющая устойчивость замкнутой системы. Оценка значения нелинейной части передаточной функции показала, что в большинстве практических случаев ей можно пренебречь. Сформулирован подход к экспериментальному исследованию многоканальных асинхронных цифровых систем, разработано программное обеспечение для расчета эталонных частотных характеристик ЦСДУ. Показано, что доминирующим эффектом влияния выравнивания информации является: для сигнала прямой цепи - дополнительное запаздывание, для интегральных звеньев – изменение коэффициента при интеграле, а для апериодического фильтра – изменение постоянной времени фильтра. Получены аналитические выражения, описывающие эти эффекты для двухканальной системы.

В **четвертой** главе проведен анализ динамики многотактных систем. Обнаружено влияние реализуемой циклограммы работы на передаточную функцию резервированной системы. Исследованы два практически важных случая многотактности и разработаны методы расчета динамических характеристик цифровых систем с обоими видами многотактности. Предложен подход к анализу резервированных цифровых систем управления с помощью методов многоконтурных систем, а именно путем расчета собственных значений матрицы передаточных функций разомкнутой

системы. Проведен анализ устойчивости системы «самолет-ЦСДУ» в боковом канале и для случаев отказных ситуаций и реконфигурацию управления.

В **пятой** главе рассмотрен ряд вопросов, связанных с построением эффективной системы контроля ЦСДУ. С помощью методов теории цепей Маркова проведена оценка рассогласований между каналами цифровой СДУ, вызванных асинхронностью системы, наличием постоянного смещения и случайной составляющей показаний датчиков, а также наличием сбоев информации. Предложены алгоритмы выравнивания значений интегральных звеньев и синхронизации дискретных сигналов цифровой резервированной системы управления с помощью конечных автоматов и проведено численное моделирование для оценки эффективности. По результатам стендовых экспериментов и лётных испытаний получены двумерные распределения рассогласования между контролируемыми сигналами как функции уровня рассогласования и времени превышения этого уровня. Полученные распределения позволили сформулировать рекомендации по величине порогов алгоритмов контроля для выполнения требований к вероятности ложного срабатывания.

Реализация результатов. Результаты диссертационной работы использованы при разработке цифровых систем дистанционного управления самолётов Ту-204, Ту-334, SSJ-100 и MC-21, отработке их на стендах ЦАГИ. Теоретическая часть работы положена в основу программного пакета DASIS, который применяется в ЦАГИ при расчёте динамических характеристик и запасов устойчивости самолётов с ЦСДУ.

Апробация результатов работы и публикации

Апробация результатов исследований проведена на всероссийских и международных научно-технических конференциях в достаточном объеме.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 12 статьях, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК РФ. Всего по теме диссертации опубликованы 21 статья. Кроме того, результаты

диссертационной работы отражены в монографии «Системы дистанционного управления магистральных самолетов», выпущенной в соавторстве с Б.С.Алешиним, Ю.И.Диденко и Ю.Ф.Шелюхиным.

К достоинствам работы следует отнести прекрасное графическое оформление.

Замечания по работе

В то же время диссертационной работе присущи некоторые недостатки:

1. При рассмотрении алгоритмов контроля не рассмотрены т.н. кворум-элементы, широко используемые в ЦСДУ маневренных самолетов, которые являются нелинейными элементами и оказывают заметное влияние на динамические свойства резервированной ЦСДУ.
2. Не рассмотрены архитектуры, функциональный состав, алгоритмы управления маневренных самолетов, для которых проблемы цифровой реализации более актуальны в силу более высоких собственных частот и которые строятся на несколько иных принципах, чем изложенные в диссертационной работе.

К сожалению, работа не свободна от досадных опечаток, например, на страницах 82, 103, 108, 175.

Однако, высказанные замечания носят уточняющий характер, не умаляют достоинств диссертации и не снижают общую положительную оценку работы.

Опубликованные работы и **автореферат** полностью отражают содержание диссертаций.

Заключение

Диссертационная работа Баженова Сергея Георгиевича «Динамика цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления магистральных самолётов» представляет собой законченную научную работу, в которой поставлены и решены научные задачи, имеющие большое

значение для создания современных систем управления магистральных самолётов, обновление парка которых в настоящее время является одной из важнейших народно-хозяйственных задач нашего государства. Диссертация полностью отвечает требованиям пункта п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Баженов Сергей Георгиевич заслуживает присуждения ученой степени доктор технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов»

Официальный оппонент
Заместитель Главного конструктора по управлению
Инженерного центра АО «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ»
Заслуженный машиностроитель РФ,
Доктор технических наук, профессор

Оболенский Юрий Геннадьевич

26» января 2018 г.

Почтовый адрес организации:
125171, г. Москва, Ленинградское шоссе, д.6а,
Акционерное общество «РСК «МиГ» Инженерный Центр «ОКБ имени А.И.Микояна»,
Тел.(495) 721-81-00 доб.101-26-03,
Тел. 8-905-747-35-73 (моб.), Электронная почта y.obolensky@rsk-mig.ru

Подпись официального оппонента д.т.н., профессора Оболенского Ю.Г.
«ЗАВЕРЯЮ»

Начальник управления по работе с персоналом



И.Н.Новикова