

Филиал
Публичного акционерного общества
«АВИАЦИОННАЯ ХОЛДИНГОВАЯ
КОМПАНИЯ «СУХОЙ»
«ОКБ Сухого»

(Филиал ПАО «Компания «Сухой»
«ОКБ Сухого»)

Россия, 125284, Москва,
ул. Поликарпова, 23 А, а/я 604
тел. 8 (495) 941-78-41, (495) 941-78-36
факс 8 (495) 941-01-91, (495) 945-66-06
E-mail: okb@okb.sukhoi.org
ОГРН 1037740000649, ИНН 7740000090

« ___ » ___ 201__ г. № _____

На № _____ от _____

Председателю Диссертационного Совета
Д212.125.12

В.В. Малышеву

125993, г. Москва,

А-80, ГСП-3

Волоколамское шоссе, д.4

Направляю Вам отзыв официального оппонента Константинова Сергея Валентиновича по диссертации Баженова Г.С., представленный к защите на соискание ученой степени доктора технических наук.

Приложение: упомянутый в тексте отзыв, 2 экз., на 5-х листах каждый,
только в адрес.

Первый заместитель генерального
директора по программам -
директор филиала
ПАО «Компания «Сухой»
«ОКБ Сухого»

М. Ю. Стрелец



ОТЗЫВ

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

Актуальность. Современные самолеты, как гражданские (Ту-204, Ил-96-300, Сухой Суперджет-100, МС-21), так и военные (семейство Су-27, Миг-35, Су-57,...) управляются с помощью цифровых систем дистанционного управления (ЦСДУ). Это касается как режимов автоматического управления (САУ), систем улучшения устойчивости и управляемости (СУУ), так и наиболее сложной проблемы – цифрового управления приводами. Разная динамика контуров автоматического траекторного управления, ручного управления при маневрировании, улучшения характеристик устойчивости и управляемости самолета, управления приводами определяют различные требования к динамическим характеристикам работы этих контуров и, соответственно, частотам обновления информации и запаздываниям, т.е. к циклограмме работы. Исследование влияния цифровой реализации СДУ и ее резервирования на динамические характеристики контуров управления самолетом требует новых методов анализа и моделирования сложных цифровых систем управления. Требуется принимать во внимание многоканальность, асинхронность выполнения операций между каналами резервированной ЦСДУ и внутри каждого канала, использование различных частот для обновления информации и выполнения вычислительных операций, выравнивание информации между каналами для обеспечения идентичности вычислительных процессов в различных каналах ЦСДУ. Для построения эффективной системы контроля ЦСДУ необходима оценка рассогласований между контролируемыми сигналами, что также требует учета упомянутых выше особенностей построения и функционирования ЦСДУ.

Объектом исследования являются цифровые резервированные системы дистанционного управления современных высокоавтоматизированных самолетов.

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 системы контроля.

Общая характеристика диссертации.

Данная работа направлена на формирование теоретического и прикладного задела для исследования и разработки цифровых

резервированных асинхронных многотактных систем управления и научного сопровождения создания систем дистанционного управления самолетов транспортной категории.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений.

В первой главе определен предмет исследования, т.е. проведен обзор основных особенностей построения и функционирования современных цифровых систем дистанционного управления самолетов транспортной категории. Рассмотрены основные требования, предъявляемые к самолету с ЦСДУ, и современный подход к разработке высокоинтегрированных цифровых систем. Подробно рассмотрены функции ЦСДУ. Рассмотрены особенности построения и функционирования ЦСДУ, учет которых необходим при анализе устойчивости и характеристик управляемости самолета с цифровой системой управления, включая асинхронность, многотактность и выравнивание информации для обеспечения идентичности вычислительных процессов и состояний вычислителей разных каналов.

Во второй главе рассмотрены особенности динамики асинхронной одноканальной системы управления. Рассмотрены типовые временные циклограммы работы ЦСДУ и требования к максимальным допустимым запаздываниям в каналах управления. Требования к запаздываниям в каналах обратной связи по угловым скоростям и перегрузке определены исходя из оценки запасов устойчивости замкнутой системы «самолет-СДУ» и характеристик переходных процессов (колебательность, заброс, наличие высокочастотных составляющих и т.д.). Допустимые запаздывания в других каналах определены исходя из необходимости построения эффективной системы контроля на основе попарного сравнения. Получены распределения контролируемых сигналов и их производных, что позволило провести оценку максимальных допустимых периодов обновления информации.

В третьей главе рассмотрено влияние асинхронности, выравнивания информации и многотактности на устойчивость и динамические характеристики самолета с ЦСДУ. Определена связь между передаточной функцией, определяющей устойчивость замкнутой системы «самолет - многоканальная асинхронная цифровая СДУ» и передаточной функцией разомкнутой системы. Показано, что передаточная функция, определяющая устойчивость замкнутой системы является линейной частью передаточной функции системы, разомкнутой в общей точке непрерывной части. Определен подход к экспериментальному исследованию, разработана методика и создано программное обеспечение для расчета эталонных частотных характеристик многоканальных ЦСДУ. Определено влияние выравнивания информации на динамические свойства типовых звеньев. Показано, что в области низких частот выравнивание сигнала прямой цепи эквивалентно дополнительному запаздыванию, выравнивание сигнала интеграла – изменению коэффициента при интеграле, а выравнивание выходного сигнала апериодического фильтра – изменению постоянной времени фильтра.

В четвертой главе проведен анализ особенностей динамики многотактных систем. Отмечено влияние реализуемой циклограммы работы на передаточную функцию системы. Рассмотрены два практически важных случая многотактности и разработаны методы расчета динамических характеристик цифровых систем с обоими видами. Сформулирован подход к анализу многосвязных цифровых систем управления с помощью структурной декомпозиции системы путем расчета собственных значений матрицы передаточных функций разомкнутой системы. Проведен анализ устойчивости системы «самолет-ЦСДУ» для ряда расчетных случаев, включая отказные ситуации и реконфигурацию управления.

В пятой главе рассмотрен ряд вопросов, связанных с построением эффективной системы контроля ЦСДУ. Обосновано максимальное допустимое время обнаружения отказа ЦСДУ. Проведена оценка рассогласований между каналами цифровой СДУ, вызванных асинхронностью системы, наличием «шумов» в показаниях датчиков и сбоями информации. Предложены алгоритмы выравнивания значений интегральных звеньев и синхронизации дискретных сигналов цифровой резервированной системы управления и проведена оценка их эффективности. На основе стендовых экспериментов и летных испытаний получены двумерные функции распределения рассогласования между контролируруемыми сигналами в зависимости от уровня рассогласования и времени превышения этого уровня. На основе полученных распределений и требований к вероятности ложного срабатывания системы контроля СДУ сделаны рекомендации к порогам срабатывания алгоритмов контроля различных сигналов.

В Заключении сформулированы основные полученные в работе результаты, отражающие научную новизну и практическую значимость работы в целом.

Научная значимость и новизна работы.

Разработаны универсальные, практически применимые методы исследования самолетов со сложными современными ЦСДУ, позволяющие учесть основные особенности их построения и функционирования. Определена структура передаточной функции, определяющей устойчивость замкнутой системы «самолет-ЦСДУ», выявлено принципиальное наличие нелинейной зависимости запасов устойчивости замкнутой системы от коэффициентов усиления ЦСДУ, проведена количественная оценка этого нелинейного влияния. Выявлено влияние выравнивания информации на динамические свойства системы, получены аналитические выражения для ряда случаев. Проведен анализ динамических характеристик последовательного соединения двух систем с разными частотами обновления информации. Проведено исследование влияние циклограммы работы на динамические характеристики двухтактной двухканальной системы, обнаружено влияние реализуемой циклограммы на структуру эквивалентной передаточной функции системы. Предложена модификация метода гармонического баланса

с учетом транспонирования комбинированных на нелинейных элементах гармоник в низкочастотную область, проведена оценка их вклада в частотную характеристику. Предложен подход к выбору параметров системы контроля, обеспечивающий максимальную эффективность контроля и выполнение требований к вероятности ее ложного срабатывания.

Практическая значимость работы и ее апробация.

Основные результаты работы использованы при разработке ЦСДУ магистральных самолетов (Ту-204, Ту-334, Сухой Суперджет – 100, МС-21). Сформированы требования к запаздываниям в основных трактах управления для обеспечения устойчивости, управляемости и эффективного контроля. Создано программное обеспечение, позволяющее произвести расчет областей устойчивости и эталонных частотных характеристик, которые были использованы при стендовых исследованиях реальных БЦВМ. Предложены методы обеспечения согласованной работы каналов системы управления. Проведенный анализ процессов в резервированной системе управления самолета Сухой Суперджет–100 и полученные двумерные распределения рассогласований между каналами позволили обоснованно выбрать параметры системы контроля и обеспечить ее эффективную работу.

Публикации

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 12 статьях, опубликованных в журнале «Ученые записки ЦАГИ», рекомендованном ВАК.

Всего по теме диссертации опубликована 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.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

В качестве замечания по данной диссертации можно указать:

1. Не рассмотрены структуры ЦСДУ с распределенной архитектурой и методы определения оптимальных частот обновления информации с точки зрения достижения требуемых запасов устойчивости и качества функционирования замкнутой системы «Самолет – система управления».
2. Не рассмотрена динамика цифровой подсистемы управления рулевыми приводами основных аэродинамических органов (рулей высоты, направления, элеронов и т.д.), от которой существенно зависят запасы устойчивости замкнутой системы «Самолет – система управления» в области малых и больших возмущений.
3. Не рассмотрен случай многотактного режима работы системы с малым отличием частот обновления информации друг от друга.

Указанные замечания не влияют на общий уровень диссертации, в которой рассмотрены научные проблемы, имеющие большое значение для решения важных народно-хозяйственных задач.

В целом диссертационная работа Баженова С.Г. является законченной научно-квалификационной работой.

Работа Баженова С.Г. соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК России, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013г., а ее автор – заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов».

Официальный оппонент

Главный Конструктор
ПАО «Компания Сухой»,
доктор технических наук,
профессор



Константинов
Сергей
Валентинович

Адрес: 125284, г. Москва,
ул. Поликарпова, д.23А
ПАО «Компания Сухой»

Подпись Константинова С.В. заверяю

