



**Публичное акционерное общество
«Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина»
(Группа компаний ОАК)**

Ленинградский пр-т, д. 45 «Г», Москва, 125190
тел.: +7 499 943 81 21
факс: +7 495 612 21 32
<http://www.ilyushin.org>

Ученому секретарю
диссертационного совета
Д 212.125.12
Старкову А.В.
125993 г.Москва, А-80, ГСП-3
Волоколамское шоссе, д.4

26.12.17 г. № 113-0.9/21785
На № _____ от _____

Направляю Вам отзыв на автореферат диссертации Баженова Сергея Георгиевича «Динамика цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления магистральных самолетов», представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов»

Приложение: указанное в тексте 2 экз. по 4 листа каждый

Зам. Главного конструктора


26.12.17

Круглякова О.В.



«УТВЕРЖДАЮ»

Первый зам. Генерального директора

ПАО «Ил»

Черенков П.Г.

2017 г.

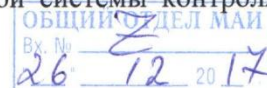


ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Баженова Сергея Георгиевича на тему «Динамика цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления магистральных самолетов», представленной к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09

«Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов»

Актуальность работы. Создание гражданской авиационной техники охватывает множество видов деятельности, включая научный поиск и разработку новых технологий, проектирование, стендовые и летные испытания, производство, сертификацию и сопровождение эксплуатации авиационной техники. Этапным моментом в развитии магистральных самолетов можно считать переход на цифровые системы дистанционного управления (ЦСДУ). Первым отечественным самолетом с элементами цифрового управления был Ил-96, оборудованный, в том числе, системой активного демпфирования (САД). За Ил-96 последовал Ту-204 с полностью цифровой основной системой управления и другие самолеты. В настоящее время цифровые системы дистанционного управления (ЦСДУ) применяются для ручного и автоматического управления на практически всех современных самолетах. Их создание и отработка связаны с рядом новых проблем, которые не свойственны аналоговым и механическим системам. На начальном этапе формируются требования к характеристикам ЦСДУ, для чего проводится оценка влияния цифровой реализации на динамические характеристики самолета, что требует разработки новых методов исследования и моделирования сложных цифровых систем управления. При этом следует учитывать асинхронность выполнения операций в разных каналах резервированной ЦСДУ, использование межмашинного обмена для выравнивания информации и многотактность, т.е. использование различных периодов обновления информации и выполнения операций в вычислителях. Все это оказывает влияние на динамику системы. Построение эффективной системы контроля



требует знания распределений рассогласований между контролируемыми сигналами, которые зависят от вышеупомянутых особенностей построения и функционирования ЦСДУ.

Объектом исследования являются цифровые системы дистанционного управления современных пассажирских и транспортных 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.

Научная значимость. Изучено влияние асинхронности, выравнивания информации между каналами и многотактности на динамические характеристики многоканальной цифровой системы управления. Исследована структура передаточной функции, определяющей устойчивость замкнутой системы «самолет-ЦСДУ». Проведена оценка влияния нелинейной части этой передаточной функции, показано, что в большинстве случаев ей можно пренебречь. Определено влияние выравнивания информации на динамические свойства типовых звеньев, которое заключается в дополнительном запаздывании для прямой цепи, изменении коэффициента при интеграле и увеличении постоянной времени фильтра. Для двухканального случая получены аналитические выражения.

Проведена оценка рассогласований между каналами цифровой СДУ, вызванных асинхронностью системы, наличием постоянного смещения и случайной составляющей показаний датчиков и сбоями информации.

Проведен анализ особенностей динамики многотактных систем. Выделены два случая многотактности. Во-первых, разные сигналы могут рассчитываться с разными частотами. Во-вторых, для расчета одного и того же сигнала в разные моменты используются разные алгоритмы. Разработаны методы расчета динамических характеристик цифровых систем с обоими видами многотактности.

Теоретическая новизна. Определена связь между передаточной функцией, определяющей устойчивость замкнутой системы «самолет - многоканальная асинхронная цифровая СДУ» и передаточной функцией разомкнутой системы, при размыкании в общей точке непрерывной части. Показано, что в общем случае передаточная функция, определяющая устойчивость является нелинейной функцией коэффициентов усиления, что затрудняет анализ устойчивости с помощью понятий запасов устойчивости по амплитуде и фазе. В то же время, линейная часть передаточной функции, определяющей устойчивость замкнутой системы «самолет - ЦСДУ» является передаточной функцией

системы, размыкании в общей точке непрерывной части. Для многотактных систем отмечено влияние реализуемой циклограммы работы на передаточную функцию системы. 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-СДУ» для ряда расчетных случаев, включая отказные ситуации и реконфигурацию управления.

Практическое значение работы. Разработаны методы расчета динамических характеристик ЦСДУ с учетом резервирования, асинхронности, многотактности и выравнивания информации, а также устойчивости замкнутой системы «самолет-ЦСДУ». На основании разработанных методов анализа сложных цифровых систем создано программное обеспечение, позволяющее произвести расчет областей устойчивости, частотных характеристик, определяющих устойчивость замкнутой системы «самолет - резервированная цифровая СДУ» и эталонных частотных характеристик, которые были использованы при стендовых исследованиях реальных БЦВМ. Сформированы требования к динамическим характеристикам основных трактов управления и обратных связей с точки зрения устойчивости, управляемости и построения эффективной системы контроля и на их основе обоснованы частоты обновления информации этих сигналов. На основе стендовых экспериментов и летных испытаний получены двумерные функции распределения рассогласований между контролируемыми сигналами в зависимости от уровня рассогласования и времени превышения этого уровня и на их основе сделаны рекомендации к порогам срабатывания алгоритмов контроля. Предложены алгоритмы выравнивания интегральных звеньев и синхронизации дискретных сигналов цифровой резервированной системы управления и оценена их эффективность.


Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Следует отметить следующие **замечания**.

1. Недостаточно подробно рассмотрен вопрос взаимодействия цифровой асинхронной многотактной ЦСДУ и тонов аэроупругих колебаний, что оказывают влияние на устойчивость системы «самолет-ЦСДУ».
2. Не рассмотрен случай гибридной системы, когда часть обратных связей и сигналов управления реализованы в аналоговом виде, что также встречается среди архитектур систем управления.

Замечания не снижают общий высокий уровень диссертации где поставлены и решены научные задачи, имеющие большое значение для решения важных народно-хозяйственных задач. Диссертационная работа представляет собой законченную работу и удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям. Считаю, что автор Баженов Сергей Георгиевич заслуживает присуждения ученой степени доктор технических наук по специальности 05.07.09 Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов

Заместитель Главного конструктора по аэродинамике,
динамике полёта и системам управления,
кандидат технических наук.


25.12.17

Круглякова Ольга Валентиновна

ПАО «Ил»

Адрес: 125190, г. Москва, Ленинградский пр., д. 45 "Г"

Телефон: +7 (499) 943-81-85

e-mail: KruglyakovaOV@ilyushin.net

Подпись О.В. Кругляковой заверяю.
ВрИО зам. Генерального директора по персоналу
и административному управлению ПАО «Ил»



Бычков И.В.

26.12.2017
Бычков