

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: Д212.125.12

Соискатель: Баженов Сергей Георгиевич

Тема диссертации: «Динамика цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления магистральных самолетов»

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 15 февраля 2018г., протокол №4 диссертационный совет пришел к выводу о том, разработанные автором методы исследований сложных цифровых систем управления, сделанные рекомендации по построению систем управления и контроля, полученные в работе результаты можно квалифицировать как новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие авиационной техники страны, в части повышения безопасности полетов и конкурентоспособности самолетов транспортной категории. Диссертация удовлетворяет п.9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. №842.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Малышев В.В., ученый секретарь диссертационного совета Старков А.В.

Члены диссертационного совета: Бобронников В.Т., Евдокименков В.Н., Ефремов А.В., Красильщиков М.Н., Занин К.А., Кибзун А.И., Константинов М.С., Падалко С.Н., Петухов В.Г., Почукаев В.Н., Райкунов Г.Г., Родченко В.В., Себряков Г.Г., Сыпало К.И., Тюменцев Ю.В., Хрусталева М.М., Шаронов А.В.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д212.125.05, к.т.н., доцент

Старков А.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.125.12

На базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации (ФГБОУ МАИ)

по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.02.2018г., протокол № 4

О присуждении Баженову Сергею Георгиевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Динамика цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления магистральных самолетов», представленная к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов» принята к защите 30 октября 2017г., протокол №17 диссертационным советом Д212.125.12 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации (МГБОУ МАИ), 125993, Москва, А80, ГСП-3, Волоколамское шоссе 4, приказ о создании совета №105/нк, от 11.04.2012г.

Соискатель Баженов Сергей Георгиевич, 1961 года рождения в 1984 году окончил с отличием Московский физико-технический институт (МФТИ) по специальности «Динамика полета и управление» с присуждением квалификации «инженер-физик». В 1991г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов» на спецтему в Центральном аэрогидродинамическом институте имени профессора Н.Е.Жуковского (диплом КД № 066733 от 21 августа 1992г.).

Диссертация выполнена в Центральном аэрогидродинамическом институте имени профессора Н.Е.Жуковского в отделении динамики полета и систем управления комплекса безопасности полета (НИО-15 НИК БП).

Научный консультант – доктор технических наук, профессор, член – корреспондент РАН, заместитель Генерального директора НИЦ имени Н.Е.Жуковского **Сыпало Кирилл Иванович**.

Официальные оппоненты:

1. **Константинов Сергей Валентинович** - Главный конструктор ПАО «Компания Сухой», доктор технических наук, профессор;
2. **Косьянчук Владислав Викторович** – Заместитель Генерального директора Государственного научно-исследовательского института авиационных систем (ФГУП «ГосНИИ АС»), доктор технических наук, профессор РАН;
3. **Оболенский Юрий Геннадьевич** – Заместитель Главного конструктора по управлению Инженерного центра АО «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ», доктор технических наук, профессор, Заслуженный машиностроитель РФ.

Все оппоненты дали **положительное заключение о диссертации**.

Ведущая организация:

Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики» (ПАО «МИЭА», 125167, г. Москва, Авиационный переулок, д.5) дало **положительное заключение**, которое было заслушано и одобрено на заседании специалистов тематического направления 900 МИЭА 19 декабря 2017г., протокол № 7, подписано Ученым секретарем НТС МИЭА кандидатом технических наук Кербер О.Б., начальником отделения 901, доктором технических наук Гребенкиным А.В. и утверждено 20 декабря 2017г. Генеральным директором МИЭА доктором технических наук Кузнецовым А.Г. В заключении указано, что диссертация С.Г. Баженова представляет собой самостоятельную завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, связанную с получением

научно-технических решений, внедрение которых привело к улучшению экономики и повышению обороноспособности государства. Новые научные результаты, полученные автором, имеют большое теоретическое и практическое значение. Верификация использованных моделей, методов и полученных результатов проведена на основе большого объема компьютерного моделирования, стендовых экспериментов и летных испытаний. Отмечено, что работа отвечает критериям Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов». Также в заключении даны рекомендации по более широкому внедрению полученных результатов, а также разработанных методов и средств среди разработчиков цифровых систем управления. Кроме того, предлагается продолжить и интенсифицировать работы по научному сопровождению разработки сложных цифровых систем управления и созданию программных средств по анализу сложных резервированных ЦСДУ.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации. Диссертационная работа Баженова С.Г. базируется на использовании и развитии задела в следующих трех научно-технических областях: 1) динамика полета и системы управления самолетов; 2) теория дискретных и цифровых систем управления; 3) математическое моделирование управляемых динамических систем. С учетом этого производился выбор ведущей организации и официальных оппонентов по диссертации.

ПАО «МИЭА» является ведущей научно-производственной организацией России, осуществляющей прикладные научные исследования, разработку, испытания и производство цифровых систем управления летательных аппаратов. Основная деятельность МИЭА сосредоточена на проектировании и производстве интегрированных комплексов бортового оборудования, создании автономных и корректируемых инерциальных навигационных систем и разработке цифровых электродистанционных систем штурвального и автоматического управления полётом, включая системы управления приводами. В МИЭА были разработаны

системы штурвального и автоматического управления, а также пилотажно-навигационные комплексы для самолетов Ту-204, Ту-334, Ан-148, МС-21 и др.

Константинов Сергей Валентинович, доктор технических наук, профессор, Главный конструктор по системам управления ПАО «Компания Сухой». За последние 5 лет он опубликовал монографию, не менее 10 работ в изданиях, включенных в перечень ВАК, является обладателем не менее 6 патентов и авторских свидетельств, имеет индексы цитируемости РИНЦ – 30 и Хирша - 4. Основное направление деятельности – системы приводов маневренных самолетов, управление электрогидравлическими приводами, в том числе цифровое.

Косьянчук Владислав Викторович, доктор технических наук, профессор РАН, Заместитель Генерального директора ФГУП «ГосНИИАС». Он является специалистом по системам управления многосвязными объектами, комплексам бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики, проблемам интеллектуализации современных авиационных комплексов.

Оболенский Юрий Геннадьевич, Заместитель Главного конструктора по управлению Инженерного центра АО «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ», доктор технических наук, профессор. За последние 5 лет он опубликовал три монографии, не менее 11 работ в изданиях, включенных в перечень ВАК, является обладателем не менее 4 патентов и авторских свидетельств, имеет индексы цитируемости РИНЦ – 52 и Хирша - 2. Основное направление деятельности – системы дистанционного управления маневренных самолетов, в том числе цифровые.

Выбор ведущей организации и официальных оппонентов позволяет получить квалифицированную оценку достижений соискателя во всех трех научно-технических областях, упомянутых выше.

Основные результаты диссертационной работы изложены в монографии и 20 публикациях в рецензируемых журналах и сборниках научных трудов, а также в сборниках тезисов конференций. Из них 12 статей в журналах из перечня ВАК РФ. Всего по теме диссертации опубликовано 39 работ.

Монографии:

1. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Диденко Ю.И., Шелюхин Ю.Ф. Системы дистанционного управления магистральных самолетов. – М.: Наука, 2013. ISBN 978-5-02-038091-2

Статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК:

1. Баженов, С.Г., Шелюхин, Ю.Ф. Анализ изменения динамических свойств самолета при согласовании информации между резервированными каналами цифровой системы управления // Ученые записки ЦАГИ, 2013. – Т. XLIV, № 1. – С. 94-106. ISSN 0321-3439. №1327 в перечне ВАК от 01.01.2018 г.
2. Баженов, С.Г. Некоторые особенности динамики многотактной цифровой системы управления / С.Г. Баженов // Ученые записки ЦАГИ, 2010. – Т. XLI, № 5. – С. 56-65. ISSN 0321-3439. №1327 в перечне ВАК от 01.01.2018 г.
3. Баженов, С.Г. К расчету устойчивости самолета в боковом канале с цифровой многотактной системой управления / С.Г. Баженов // Ученые записки ЦАГИ, 2011. – Т. XLII, № 2. – С. 80-89. ISSN 0321-3439. №1327 в перечне ВАК от 01.01.2018 г.
4. Баженов, С.Г. Оценка рассогласований между каналами цифровой системы управления, вызванных сбоями информации / С.Г. Баженов // Ученые записки ЦАГИ, 2010. – Т. XLI, № 6. – С. 43-53. ISSN 0321-3439. №1327 в перечне ВАК от 01.01.2018 г.
5. Баженов, С.Г. Синтез алгоритма синхронизации интегральных звеньев цифровой резервированной системы управления / С.Г. Баженов // Ученые записки ЦАГИ, 2011. – Т. XLII, № 1. – С. 86-93. ISSN 0321-3439. №1327 в перечне ВАК от 01.01.2018 г.
6. Баженов, С.Г. Синтез алгоритма синхронизации релейно-гистерезисных элементов в цифровой резервированной системе управления с помощью конечных автоматов / С.Г. Баженов // Ученые записки ЦАГИ, 2013. – Т. XLIV, № 3. – С. 83-90. ISSN 0321-3439. №1327 в перечне ВАК от 01.01.2018 г.
7. Баженов, С.Г., Лысенкова, Н.Б. К выбору порогов алгоритма контроля цифровой асинхронной системы штурвального управления магистрального самолета / С.Г. Баженов, Н.Б. Лысенкова // Ученые записки ЦАГИ, 2015. – Т. XLVI, № 1. – С. 60-71. ISSN 0321-3439. №1327 в перечне ВАК от 01.01.2018 г.

8. Баженов, С.Г., Диденко, Ю.И., Козьяйчев, А.Н. Синтез алгоритма ограничения угла крена при движении самолета вблизи поверхности земли / С.Г. Баженов, Ю.И. Диденко, А.Н. Козьяйчев // Ученые записки ЦАГИ, 2016. – Т. XLVII, №3. – С. 71-79. ISSN 0321-3439. №1327 в перечне ВАК от 01.01.2018 г.
9. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Формирование бесконфликтных траекторий предпосадочного маневрирования с учетом ограничений на маневренные возможности самолета // Проблемы управления. Труды Института проблем управления РАН. №2, 2012 с. 70-75. ISSN 1819-3161. №1661 в перечне ВАК от 01.01.2018 г. № 740 в перечне МБД от 15.01.2018 г.
10. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Оценка реализуемости и безопасности траекторий самолета с помощью бортовой математической модели // Проблемы управления. Труды Института проблем управления РАН. № 4, 2013, стр. 64-71. ISSN 1819-3161. №1661 в перечне ВАК от 01.01.2018 г. № 740 в перечне МБД от 15.01.2018 г.
11. Баженов С.Г., Егоров Н.Е., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Управление траекторией и скоростью самолета при заходе на посадку в условиях пересеченной местности // Проблемы управления. Труды Института проблем управления РАН. 2015. № 2. с. 45-51. ISSN 1819-3161. №1661 в перечне ВАК от 01.01.2018 г. № 740 в перечне МБД от 15.01.2018 г.
12. Баженов С.Г. Интеллектуальная система прогноза посадки самолета и оценки ее реализуемости // «Известия ТРТУ» 2004. ISSN 1999-9429. №680 (правопреемник) в перечне ВАК от 01.01.2018 г.

Статьи в рецензируемых сборниках научных трудов:

1. Баженов С.Г. Анализ динамики магистральных самолетов с цифровыми резервированными системами управления // Сборник пленарных и избранных докладов 8-го международного аэрокосмического конгресса – IAC'15. Москва 28-31 авг. 2015г. Стр. 145-152. ISBN 978-5-9906732-4-3.
2. Баженов С.Г. Моделирование и анализ цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления современными магистральными самолетами // Седьмая всероссийская научно-практическая

конференция «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД - 2015) с. 3-13. ISBN 978-5-91450-172-0.

3. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Использование параллельных процессов для оценки реализуемости и безопасности траекторий магистрального самолета с помощью его бортовой математической модели в интегрированной системе обеспечения безопасности полета // Труды международной конференции по управлению и параллельным вычислениям (РАСО-2012). Москва. 2012, с.122-137. ISBN 978-5-91450-125-6.
4. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Обеспечение траекторной безопасности магистрального самолёта с использованием бортовой математической модели // II всероссийская научно-техническая конференция «Моделирование авиационных систем» ГосНИИАС, Москва 2013 Труды конференции. Стр 3-4.
5. S. Bazhenov, Korolyov V.S., Kulida E.L., Lebedev V.G. Simulation of On-board Model of Airliner to Evaluate Capability of Trajectories and Flight Safety // 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2014), ICAS 2014 CD ROM Proceedings. 2014. ICAS2014-8.9.1-2014_0815.
6. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Прототип системы обеспечения траекторной безопасности полета // В сборнике: XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2014. С. 3351-3361. ISBN 978-5-91450-151-5.
7. Алешин Б.С., Баженов С.Г., Кулида Е.Л., Лебедев В.Г. Использование бортовой модели самолета для оценки траекторий и повышения безопасности полета // В сборнике: Результаты фундаментальных исследований в прикладных задачах авиастроения Москва, 2016. с. 162-174. Коллектив авторов, включая Баженова С.Г. ISBN 978-5-9908169-6-1.

На диссертацию и автореферат получены следующие отзывы:

1. Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики» (ПАО «МИЭА») (ведущая организация). **Отзыв положительный.**

Отзыв подписали Ученый секретарь НТС МИЭА кандидат технических наук Кербер О.Б., начальник отделения 901, доктор технических наук Гребенкин А.В. Отзыв утвердил Кузнецов А.Г., Генеральный директор МИЭА, доктор технических наук.

Замечания:

1. В диссертации не уделено должного внимания взаимодействию многоканальной асинхронной ЦСДУ с высокочастотными тонами аэроупругих колебаний конструкции. Приведены лишь общие аналитические выражения для транспонирования тонов в низкочастотную область, но конкретные примеры влияния резервирования и асинхронности на запасы устойчивости системы «ЦСДУ-упругий самолет» не приведены;
2. В работе рассмотрен лишь случай фиксированной циклограммы работы ЦСДУ, тогда как на практике она является «плавающей», т.е. слабо меняющейся по времени;
3. Приведенные в работе примеры относятся, в основном, к динамике неманевренных самолетов, тогда как для маневренных самолетов, в силу их более высоких собственных частот и, соответственно, быстрой динамики рассмотренные проблемы представляются более актуальными.

2. Константинов Сергей Валентинович, доктор технических наук, профессор, Главный конструктор по системам управления ПАО «Компания Сухой». (официальный оппонент). **Отзыв положительный.**

Подпись Константинова С.В. заверена отделом кадров филиала ПАО «Компания «Сухой».

Замечания:

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 приводами основных аэродинамических органов управления (рулей высоты, направления, элеронов и др.), 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.

3. Косьянчук Владислав Викторович, доктор технических наук, профессор РАН, Заместитель Генерального директора ФГУП «ГосНИИАС». (официальный оппонент). Отзыв положительный.

Подпись Косьянчука В.В. заверена Ученым секретарем ФГУП «ГосНИИАС», доктором технических наук, профессором С.М. Мужичеком.

Замечания:

1. Взаимодействие цифровой системы управления и систем авионики, обеспечивающих необходимую информацию для функционирования ЦСДУ, т.е. цифровых информационных систем рассмотрено очень скупо лишь на уровне временных циклограмм, причем решаются только проблемы расчетов устойчивости и динамических характеристик, тогда как вопросам интерфейса, протоколов обмена, комплексного контроля не уделено должного внимания.
2. Не рассмотрено взаимодействие СДУ и систем авионики, получающих информацию от СДУ, таких как системы отображения информации, бортовые регистраторы и др.
3. Не рассмотрена задача интеграции разработанных методов оценки вероятности ложного срабатывания системы контроля с традиционными методами оценки надежности систем управления (деревья отказов, диаграммы зависимостей, цепи Маркова).

4. Оболенский Юрий Геннадьевич, Заместитель Главного конструктора по управлению Инженерного центра АО «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ», доктор технических наук, профессор. (официальный оппонент). Отзыв положительный.

Подпись Оболенского Ю.Г. заверена начальником управления по работе с персоналом И.Н. Новиковой.

Замечания:

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 работе.

На автореферат получены отзывы:

1. ФГБОУ ВО Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э.Баумана. Отзыв на автореферат. Отзыв положительный.

Отзыв подписал Семенов С.Е., Заведующий кафедрой «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика», кандидат технических наук. Подпись Семенова С.Е. заверил заместитель начальника Управления кадров МГТУ им. Н.Э.Баумана А.Г.Матвеев.

Замечания:

1. Несмотря на то, что силовая система управления является неотъемлемой частью системы управления самолета в работе не уделено достаточного внимания проблеме цифрового управления приводами. Данный контур является наиболее быстрым, требования к его динамике наиболее жесткие, частоты обновления информации наиболее высокие. Выбор рациональной циклограммы работы в контуре управления приводами с различными частотами обновления информации представляет большой интерес и может рассматриваться как одно из направлений

дальнейшего развития работы.

2. Недостаточно внимания уделено и проблеме высокочастотных случайных составляющих, неизбежно присутствующих во входных сигналах системы управления. Расчет спектрального состава управляющих сигналов на исполнительные элементы играет большую роль при оценке ресурса приводов. Учет асинхронности, многотактности и выравнивания информации представляет, с этой точки зрения, большой интерес.

2. Публичное Акционерное Общество «Авиационный комплекс имени С.В.Ильюшина» (ПАО «Ил»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.**

Отзыв подписала Заместитель Главного Конструктора ПАО «Ил», к.т.н. Круглякова О.В. , утвердил Первый зам. Генерального директора ПАО «Ил» Черенков П.Г. Подпись Кругляковой О.В. заверил ВрИО зам. Генерального директора по персоналу и административному управлению ПАО «Ил» И.В.Бычков.

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.

3. Публичное Акционерное Общество «Туполев» (ПАО «Туполев»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.**

Отзыв подписал Заместитель начальника ПКЦ «Аэродинамика» по НИР, доктор технических наук Кошечев А.Б., утвердил *Заместитель Генерального директора ПАО «Туполев» по проектированию, НИР и ОКР Солозобов В.И.*

Подпись Кошечева А.Б.. заверил заместитель директора дирекции по управлению персоналом – начальник отдела по работе с персоналом О.П.Кондрашов.

Замечания:

1. Не представлена процедура получения трехмерных функций распределения рассогласований для трехканальной цифровой системы управления, и функций распределения более высокой размерности, что требуется для оценки вероятности ложного срабатывания системы контроля и выбора ее параметров.

2. Не рассмотрен случай использования кворум-элементов для контроля сигналов ЦСДУ, не исследованы частотные свойства резервированной ЦСДУ с кворум элементом.

4. Федеральное государственное унитарное предприятие «Пилотажно-исследовательский центр» (ФГУП «ПИЦ»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписали начальник службы эксплуатации воздушных судов, кандидат технических наук С.И.Петриченко и ведущий инженер по летным испытаниям воздушных судов, кандидат технических наук В.Д.Курбесов, утвердил Первый заместитель директора - Главный конструктор ФГУП «ПИЦ» А.Н.Квочур. Подписи заверила Начальник бюро по обеспечению документооборота и кадрам М.Л.Маричева.

Замечания:

1. В работе не уделено внимания постановке задач для летных испытаний, их видам и возможным результатам, которые позволили бы на практике оценить влияние исследуемых в работе эффектов.

2. Не рассмотрены аналогичные результаты для маневренных самолетов, что, по-видимому, объясняется открытым характером диссертационной работы.

5. Акционерное Общество «Гражданские самолеты Сухого» (АО «ГСС»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал Главный специалист департамента аэродинамических характеристик, кандидат технических наук АО «ГСС» В.М.Поляков, утвердил Старший вице-президент – Главный конструктор АО «ГСС» А.О.Недосекин. Подпись В.М.Полякова заверила Начальник отдела кадров Т.А.Егорова.

Замечания:

1. В работе сформулирован лишь общий подход, но вопрос взаимодействия асинхронной многотактной ЦСДУ с тонами упругих колебаний конструкции и оценки устойчивости замкнутой системы «упругий самолет-ЦСДУ» рассмотрен недостаточно детально.

2. В работе не представлены результаты исследований важного случая цифрового управления приводами, когда блок управления расположен непосредственно на приводе и связь с ЦСДУ осуществляется по цифровым линиям межмашинной связи.

6. Акционерное общество «Московский научно-производственный комплекс «Авионика» имени О.В.Успенского» (АО МНПК «Авионика»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписали Заместитель управляющего директора – Главный конструктор АО МНПК «Авионика» - Председатель НТС, кандидат технических наук Абдулин Р.Р. и Главный конструктор ТН-17 АО МНПК «Авионика», Заместитель председателя НТС, кандидат технических наук Кулабухов В.С. и начальник сектора ТН-17, кандидат технических наук Булгаков В.В. Подписи Абдулина Р.Р., Кулабухова В.С. и Булгакова В.В. заверила секретарь НТС, начальник отдела Каравашкина Е.О. Отзыв утвердил Управляющий директор АО МНПК «Авионика» В.Ф.Заец.

Замечания:

1. В работе встречаются оценочные утверждения. Например: Самолет должен обладать отличными динамическими характеристиками (стр.9.)

2. Некоторые данные/утверждения в автореферате приведены без пояснений/обоснований. Например:

- в табл. 2 на стр. 13 отсутствует источник рекомендаций по степени резервирования и наличию внутреннего резервирования;
- на стр. 14 не пояснена причина неустойчивости при малой частоте обновления информации: постоянная времени объекта управления мала или мало сглаживание при дифференциальном члене регулятора или др.;
- на стр. 15 автор не поясняет почему сильное возмущение переходного

процесса вызвано именно запаздыванием;

- на стр. 19 неясен смысл утверждения о неопределенности физического смысла частотной характеристики. Исследователь знает какой физический сигнал был на входе системы (одноканальной, как ранее указывалось) и на ее выходе;
- стр. 28 нет вывода из сравнения двух циклограмм на предыдущей странице.

3. Из автореферата не ясно, к какому именно объекту управления (Ту-204, Ту-334, SSJ-100) относятся графики и утверждения;

4. Сравнение параметров из таблицы 3 на стр. 17 и утверждения на стр. 14 не подтверждают критичности для устойчивости системы именно трактов угловой скорости тангажа и перегрузки;

5. Из текста не ясно, зачем на рис. 12 на стр. 24 приведены графики для Ассемблера, Модуля-2, Паскаля.

7. Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина» (ВУНЦ ВВС ВВА). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписали начальник кафедры авиационных комплексов и конструкции летательных аппаратов ВУНЦ ВВС ВВА, кандидат технических наук, доцент Верещиков Д.В. и профессор кафедры общевоинских дисциплин ВУНЦ ВВС ВВА, доктор технических наук Бородин А.А. Отзыв утвердил Заместитель начальника ВУНЦ ВВС ВВА, кандидат военных наук В. Казаков.

Замечания:

1. В работе не рассмотрены резервированные системы дистанционного управления маневренных самолетов у которых собственные частоты колебаний конструкции выше, чем у магистральных, а, следовательно проблемы, поднятые в диссертации, стоят существенно острее.

2. Автором не анализируется поведение резервированной системы управления при реализации в ЦСДУ адаптивных алгоритмов и, в частности, не рассматривается

проблема обеспечения идентичности процессов формирования адаптации и самонастройки в разных каналах.

8. Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки «Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова» Российской Академии Наук (ИПУ РАН). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал главный научный сотрудник ИПУ РАН, академик РАН Васильев С.Н. Подпись Васильева С.Н. заверила ведущий инженер Жукова П.П.

Замечания.

1. Выявлена чувствительность динамических характеристик цифровой системы управления к особенностям ее реализации в виде многоканального вычислительного комплекса, работающего в асинхронном режиме, использующем разные частоты обновления информации и ее выравнивание через каналы межмашинной связи, но не сделаны рекомендации по снижению этой чувствительности, т.е. обеспечению робастности.

2. При анализе нелинейных систем управления не исследована возможность появления особых точек равновесия, специфических только для цифровых систем.

9. Акционерное общество «Концерн «Международные аэронавигационные системы» (АО «Концерн МАНС»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал исполнительный директор АО «Концерн МАНС», доктор технических наук М.И. Каневский. Подпись М.И. Каневского заверила начальник отдела кадров АО «Концерн МАНС» Тимофеева О.Ю.

Замечания:

1. При анализе устойчивости замкнутой системы «самолет-ЦСДУ» используются только частотные методы, но не изучено влияние рассмотренных особенностей построения и функционирования ЦСДУ на расположение нулей и полюсов разомкнутой системы и корней замкнутой системы.

2. В работе не рассмотрено влияние атмосферной турбулентности, которая является источником высокочастотных случайных возмущений на

функционирование резервированной цифровой СДУ и эффективность ее системы контроля.

10. Акционерное общество «Центр научно-технических услуг «Динамика» (АО «ЦНТУ Динамика»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал исполнительный директор АО «ЦНТУ Динамика», первый заместитель Генерального директора, кандидат технических наук А.В. Островой, утвердил Генеральный директор АО «ЦНТУ Динамика» Хвостанцев В.В. Подпись А.В. Острового заверена заместителем исполнительного директора по работе с персоналом Т.В.Наливайко.

Замечания:

1. Не приведена оценка влияния выявленных особенностей построения и режима работы ЦСДУ на динамику и устойчивость других летательных аппаратов, включая маневренные самолеты и вертолеты.
2. Не проведен анализ необходимости воспроизведения анализируемых особенностей построения и работы цифровых систем управления на тренажерах современных самолетов.

11. Московский физико-технический институт (государственный университет). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал заведующий кафедрой прикладной механики и информатики, доктор технических наук, профессор В.В. Вышинский. Подпись В.В.Вышинского заверена Ученым секретарем МФТИ, к.ф.м.н. Ю.И. Скалько.

Замечания:

1. Не рассмотрен случай работы системы при наличии в сигналах перегрузки, угловой скорости и угла атаки высокочастотных случайных составляющих, вызванных атмосферной турбулентностью, порывами ветра и спутным следом.
2. Не оценены запасы устойчивости замкнутой системы «самолет-резервированная ЦСДУ» на больших углах атаки, где возможны локальные зоны неустойчивости моментной характеристики по тангажу (т.н. аэродинамические «ложки»).

3. Остаётся неясным, что происходит с ЦСДУ при отказе датчиков, в частности, основного и дублирующих, например, вследствие обледенения приёмников воздушного давления.

12. Акционерное общество «Научно исследовательский институт авиационного оборудования» (АО НИИАО). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, профессор В.Н. Буков, подпись заверена в отделе кадров. Отзыв утвердил Генеральный директор - Генеральный конструктор АО НИИАО доктор технических наук А.В. Воробьев.

Замечания:

1. Автореферат содержит отдельные формулировки, которые трудно либо понять, либо проанализировать. Так последовательность формул на стр. 24 трудно проследить, а что такое появившаяся s вообще непонятно. На стр. 30 и 31 упоминаются разработанные автором алгоритмы на основе конечных автоматов, при этом никакой информации, приоткрывающей суть или возможности этих алгоритмов не приводится.

2. Остается неясным происхождение формулы для J_{\max} на стр.33. Если это результат автора, то чем объясняется форма и, тем более, числовой параметр (единица в конце).

13. Акционерное общество «Экспериментальный машиностроительный завод имени В.М.Мясищева» (АО «ЭМЗ им. В.М.Мясищева»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал Главный специалист по динамике полета АО «ЭМЗ им. В.М.Мясищева» Абраменко Э.Я., подпись заверена начальником отдела кадров Беляевой В.П. Отзыв утвердил Управляющий директор АО «ЭМЗ им. В.М.Мясищева» А.А.Горбунов.

Замечания:

1. В работе не рассмотрен случай системы управления, когда цифровые резервированные элементы в системе управления используются наряду с аналоговыми и механическими.

2. Не изучен случай выравнивания информации между вычислителями управления приводами для предотвращения взаимонагружения приводов, отклоняющих одну аэродинамическую поверхность и работающих в активном режиме.

14. Акционерное общество «Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля» (АО «МВЗ им. М.Л.Миля»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал Главный конструктор АО «МВЗ им. М.Л.Миля», доктор технических наук С.Ю.Есаулов, подпись заверена начальником отдела кадров А.Алимовым. Отзыв утвердил Исполнительный директор АО «МВЗ им. М.Л.Миля» С.Н.Романенко.

Замечания:

1. В работе не рассмотрен случай реализации в ЭДСУ режимов автоматического управления, таких как стабилизация параметров полета, совмещенное управление, которые играют большую роль в автоматизации управления вертолета.

2. В предложенном методе структурной декомпозиции не раскрыт физический смысл и не исследованы свойства собственных векторов матрицы передаточных функций многосвязной системы управления.

15. Публичное акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Иркут» (ПАО «Корпорация «Иркут»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписали Вице-президент по разработке авиационной техники, Директор Инженерного центра, Главный конструктор МС-21, кандидат технических наук К.Ф.Попович, заместитель Главного конструктора по системам управления, начальник отделения А.Н. Митриченко, начальник отдела моделирования систем управления С.В. Байков. Подписи К.Ф.Поповича, А.Н.Митриченко и С.В.Байкова заверены Руководителем департаментом управления персоналом ПАО «Корпорация «Иркут» А.Р.Бахаревым. Отзыв утвердил Старший вице-президент, исполнительный директор, кандидат технических наук В.Б. Прутковский.

Замечания:

1. Не рассмотрены особенности динамических характеристик, а также согласования сигналов датчиков первичной информации (например, угловых скоростей и перегрузок) с учетом различной архитектуры их аппаратной части и их установки.

2. Сформирован методический подход, но не рассмотрен в деталях практически важный случай использования цифрового управления приводами системы дистанционного управления, когда блок управления и контроля находится непосредственно на приводе, а связь с ЦСДУ осуществляется по линиям межмашинной связи.

3. Не анализируется на конкретных примерах взаимодействие резервированной асинхронной многотактной ЦСДУ и аэроупругих тонов колебаний конструкции. Эти вопросы очень важны для разработки активных систем управления (систем снижения маневренных и ветровых нагрузок на конструкцию самолета, повышения комфорта экипажа и пр.) и их необходимо рассмотреть при дальнейшем развитии работы.

16. АО Центральное конструкторское бюро по судам на подводных крыльях имени Р.Е.Алексеева (АО «ЦКБ СПК им. Р.Е.Алексеева»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписали Первый заместитель Генерального директора, кандидат технических наук В.Ю.Грачев, начальник отдела аэродинамики и динамики полета В.В.Алексеев, начальник сектора, к.ф.м.н. И.В.Курочкин, начальник отдела надежности, кандидат технических наук Ю.И.Романиков. Отзыв утвердил Генеральный директор АО «ЦКБ СПК им. Р.Е.Алексеева» С.Г.Дементьев.

Замечания:

1. Не освещена методика получения эквивалентного одноканального сигнала управления.

2. Выбор максимальных допустимых запаздываний в трактах управления, осуществлен для эксплуатационных высот полета самолетов. Для разработки

ЦСДУ экранопланов было бы целесообразно рассмотреть маловысотный полет не только в частотной, но и во временной области, а также в пространстве состояний.

17. Акционерное общество «Уральский завод гражданской авиации» (АО «УЗГА»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал Д.А.Михайлин. Отзыв утвердил Генеральный конструктор АО «УЗГА» А.И.Бадеха.

Замечания:

1. Не приведены результаты конкретных исследований влияния резервирования, асинхронности, многотактности и выравнивания информации на устойчивость замкнутой системы «самолет-ЦСДУ» с учетом упругости конструкции самолета и использования крыла большого удлинения.

2. В работе не рассмотрено кворумирование сигналов, которое широко используется на практике для мониторинга входных и выходных сигналов. Кворум элемент является нелинейным элементом и его влияние на динамические характеристики и широту пропускания резервированной ЦСДУ представляет несомненный интерес.

3 В работе не рассмотрено влияние нелинейности исполнительного привода на устойчивость замкнутой системы «самолет-ЦСДУ»

18. Публичное акционерное общество Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М.Бериева. (ПАО «ТАНТК им Г.М.Бериева»). Отзыв на автореферат. **Отзыв положительный.** Отзыв подписал Главный специалист ОКБ НТЦ, к.т.н. Крееренко С.С., утвердил Генеральный директор-Генеральный Конструктор ПАО «ТАНТК им Г.М.Бериева» Ю.В.Грудинин.

Замечания:

1. В работе не рассмотрено детально взаимодействие ЦСДУ и рулевых приводов с упругой конструкцией самолета, что является важным аспектом безопасности и предметом наземных и летных испытаний. Было бы интересно применить предложенные автором методики к формированию требований к цифровой системе

активного подавления упругих колебаний, что является одной из функций современных ЦСДУ.

2. В работе не рассмотрено взаимодействие по цифровым линиям связи ЦСДУ с быстродействующими рулевыми приводами, у которых блоки управления расположены непосредственно на приводе.

3. В работе рассмотрены основные контуры управления самолетом, но несомненный интерес представляют применение предложенных методик к управлению закрылками, что также может входить в число функций ЦСДУ, а именно к функции контроля несинхронности выпуска уборки закрылков при обрыве трансмиссии. Жесткие требования к величине возможного рассогласования положения закрылков и высокая скорость под действием аэродинамической нагрузки, переходных процессов при обрыве трансмиссии требуют высокого быстродействия системы контроля несинхронности выпуска/уборки закрылков.

4. В таблице 3 в столбце «Рекомендуемая частота, Гц» указаны несоответствующие числовые значения.

Из 18 полученных отзывов на автореферат все отзывы положительные.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов, их обоснованность и практическая значимость.

Диссертационный совет отмечает, что **наиболее существенные научные результаты, полученные лично соискателем**, могут быть сформулированы следующим образом:

- проведен анализ информационных потоков и вычислительных процессов, реализующих функции и алгоритмы ЦСДУ, определены типовые циклограммы работы ЦСДУ и сформулированы требования к максимальным допустимым запаздываниям в трактах передачи информации системы управления;
- разработаны методы анализа резервированных асинхронных ЦСДУ с целью определения их динамических характеристик, запасов устойчивости системы «самолет – резервированная ЦСДУ» и их отличия от аналогичных характеристик для случая одноканальных синхронных систем;

- разработаны методы анализа влияния выравнивания информации на динамические характеристики резервированных ЦСДУ и проведена оценка искажения динамических характеристик ЦСДУ вследствие выравнивания входных и выходных сигналов, значений интегралов и фильтров;
- проведена оценка влияния наиболее распространенных видов многотактности ЦСДУ на ее динамические свойства и устойчивость системы «самолет – ЦСДУ»;
- разработаны методы оценки рассогласований в цифровых системах управления, вследствие их дискретности, асинхронности и многотактности;
- разработаны методы обеспечения идентичности состояний и вычислительных процессов в каналах резервированной ЦСДУ для ее стабильного функционирования как многомашинного комплекса, проведен синтез и моделирование алгоритмов выравнивания интегральных звеньев и фильтров, а также синхронизации логических элементов релейно-гистерезисного типа;
- разработаны методы выбора параметров системы контроля ЦСДУ для выполнения требований к возможности ложного срабатывания.

Новизна полученных результатов состоит в том, что в диссертационной работе Баженова С.Г. решена крупная научно-техническая проблема, состоящая в формировании теоретического задела и создании прикладных методов и средств для исследований и разработки цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления и научного сопровождения создания систем дистанционного управления магистральных самолетов. В частности, получены важные научно-технические решения по трем ключевым направлениям создания цифровых систем управления самолетов:

✓ **В области технологий построения систем управления** разработаны методы и проведены исследования устойчивости и динамики цифровых резервированных асинхронных многотактных систем управления высокоавтоматизированных самолетов. Разработан подход к анализу устойчивости резервированных цифровых асинхронных систем управления на основе методов теории многосвязных систем и

предложен метод структурной декомпозиции для анализа устойчивости системы «самолет-ЦСДУ».

✓ **В области технологий контроля систем управления** разработана методика предварительного выбора порогов срабатывания и времени подтверждения алгоритмов контроля ЦСДУ, которая базируется на требованиях к вероятности ложного срабатывания системы контроля и данных стендовых и летных испытаний. На основе теории конечных автоматов синтезированы алгоритмы синхронизации состояний разных каналов системы управления и проведен анализ эффективности работы данных алгоритмов при различных сценариях.

✓ **В области технологий тестирования СДУ** разработаны методы расчета эталонных частотных характеристик цифровых резервированных систем управления с учетом особенностей их построения и функционирования.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в создании научно обоснованных методов и практически применимых средств для процесса исследований, разработки и испытаний сложных цифровых систем управления современных самолетов транспортной категории с учетом их архитектурного построения, функционального наполнения и особенностей функционирования. Применение этих методов и средств позволяет сократить сроки и стоимость разработки и испытаний цифровых систем управления. Все основные результаты работы использованы при разработке цифровых систем управления отечественных магистральных самолетов (Ту-204, Сухой Суперджет-100, МС-21). Сформированы требования к динамическим характеристикам основных трактов с точки зрения устойчивости, управляемости и построения эффективной системы контроля и на их основе обоснованы частоты обновления информации этих сигналов. На основании разработанных методов анализа сложных цифровых систем создано программное обеспечение для расчета областей устойчивости и эталонных частотных характеристик ЦСДУ, которые были использованы при стендовых испытаниях реальных БЦВМ самолетов Ту-204, Ту-334, Сухой Суперджет-100. Предложены методы обеспечения согласованной работы каналов системы управления, разработаны алгоритмы выравнивания информации и синхронизации

состояний для самолета Сухой Суперджет-100. Проведенный анализ процессов в системе управления самолета Сухой Суперджет-100 и полученные двумерные распределения рассогласований позволили обоснованно выбрать параметры системы контроля и обеспечить ее эффективную работу.

Результаты диссертационной работы были использованы при разработке цифровых систем управления отечественных магистральных самолетов (Ту-204, Ту-334, Sukhoi Superjet 100, МС-21) о чем свидетельствуют соответствующие акты о внедрении. 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 основании разработанных методов анализа сложных цифровых систем создано программное обеспечение для расчета областей устойчивости и частотных характеристик ЦСДУ. Эталонные частотные характеристики были использованы при стендовых испытаниях реальных БЦВМ самолетов Ту-204, Ту-334, Sukhoi Superjet 100. Предложены методы обеспечения согласованной работы каналов системы управления, разработаны алгоритмы выравнивания информации и синхронизации состояний. Проведенный анализ процессов в резервированной системе управления самолета Sukhoi Superjet 100 и полученные двумерные распределения рассогласований между каналами позволили обоснованно выбрать параметры системы контроля и обеспечить ее эффективную работу.

Также результаты диссертационной работы использованы при формировании курсов повышения квалификации для специалистов авиационной промышленности, организованных в Корпоративном университете ЦАГИ по специальности «Динамика полета летательных аппаратов», о чем есть акт о внедрении.

Достоверность результатов исследования основывается на применении классических и валидированных инновационных методов исследований, подтверждается данными обширного цикла вычислительных экспериментов, результатами стендовой отработки ЦСДУ самолетов Ту-204, Сухой Суперджет-100, МС-21, сопоставлением расчетов с известными валидированными данными.

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 15 февраля 2018г. диссертационный совет пришел к выводу о том, разработанные автором методы исследований сложных цифровых систем управления, сделанные рекомендации по построению систем управления и контроля, полученные в работе результаты можно квалифицировать как новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие авиационной техники страны, в части повышения безопасности полетов и конкурентоспособности самолетов транспортной категории. Диссертация удовлетворяет п.9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. №842.

На заседании 15 февраля 2018г. протокол №4 диссертационный совет принял решение присудить Баженову Сергею Георгиевичу ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 5 докторов по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов», участвующих в заседании из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 19, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета
Д212.125.12, д.т.н., профессор


В.В.Малышев

Ученый секретарь диссертационного совета
Д212.125.12, к.т.н.


А.В.Старков