

О Т З Ы В

официального оппонента Чистюхина Виктора Васильевича на диссертационную работу Гришина Вячеслава Юрьевича **«Повышение эффективности систем цифровой обработки радиосигналов в аппаратуре космических средств»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Актуальность

В настоящее время задачи, решаемые системами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), чаще всего связаны с задачами картографирования, природопользования и других тематических задач. К радиотехническим системам, разрабатываемым с целью решения таких задач, предъявляются повышенные требования по разрешающей способности, скорости обзора, что приводит к необходимости создания новых средств управления радиоаппаратурой и космическим аппаратом в целом. Например, в последнее время возникла необходимость создания интегрированных антенных систем, обеспечивающих работу в широкой полосе частот при широкоугольном электрическом сканировании антенной решетки. Управление активными фазированными антенными решетками проводится с применением соответствующих алгоритмов цифровой обработки сигналов (ЦОС), которые реализуются в специализированных вычислительных структурах.

С другой стороны для сокращения избыточности информации, повышения оперативности ее доставки потребителю в чрезвычайных ситуациях необходимо создание бортового комплекса цифровой обработки сигналов и информации, обеспечивающего повышение целевой эффективности средств ДЗЗ. Создание подобных комплексов ЦОС представляет собой сложную высокотехнологичную задачу. Прежде всего, вычислительные средства для выполнения своей основной функции должны обладать высокой производительностью, что предполагает наличие на борту космического аппарата запаса мощности для питания специализированных ЦВМ. Производительность датчиков ДЗЗ чрезвычайно велика, поэтому для хранения результатов наблюдения требуется создание бортового запоминающего устройства с большой информационной емкостью. По этой же причине необходимо обеспечить высокоскоростной обмен информацией между элементами памяти, процессорами, кластерами ЦОС и другими компонентами, участвующими в обработке сигналов. Далее, в связи с жесткими условиями эксплуатации, возможностью работы в негерметизированных отсеках открытого космического пространства системы ЦОС должны выдерживать воздействия специальных факторов космического пространства.

Данный далеко не полный перечень проблем показывает всю сложность поставленных задач по обеспечению вычислительных процессов на КА. Вместе с тем применение цифровой обработки в бортовых системах космического базирования позволяет реализовать перспективные комплексы ДЗЗ, обладающие широкими возможностями. В связи с этим тема диссертационной работы В.Ю.Гришина, посвященная повышению эффективности бортовых систем ЦОС для космических аппаратов, является актуальной.

Общая характеристика диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Общий объем работы – 190 страниц.

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность работы, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* на основе анализа типовых задач и алгоритмов обработки определяются требования к перспективным бортовым системам ЦОС. В частности, показано, что производительность вычислительного комплекса ЦОС должна составлять не менее 10^{12} операций/с, объем памяти – 1...4 Тбайт, скорость обмена информацией – порядка 10...60 Гбит/с. Поставлены задачи повышения точности вычислений, радиационной стойкости систем ЦОС, обеспечения сбое- и отказоустойчивости работы многокластерных и многопроцессорных систем.

Вторая глава посвящена вопросам повышения точности алгоритмов приближенного вычисления нелинейных функций, которые наиболее часто используются в системах ЦОС, при цифровом радиоприеме, формировании радиофизических изображений, в задачах управления космическим аппаратом. На примере вычисления функции синуса, модуля комплексного радиосигнала, реализации операции деления показано, что можно управлять вычислительной сложностью алгоритмов и точностью получаемого результата. Рассмотрено влияние точности вычислений амплитуды комплексного сигнала на характеристики обнаружения в случае приема сигналов со случайной начальной фазой. Показано, что без потерь в качестве обнаружения можно использовать простые алгоритмы с точностью вычислений 10...14%, однако в случае калибровки радиоаппаратуры необходимо применение высокоточных алгоритмов (средняя погрешность не более 0,05%), требующих значительных вычислительных ресурсов.

В *третьей главе* подробно рассмотрены радиационные эффекты в процессорах и микроконтроллерах аппаратуры ЦОС, в элементах памяти. Результатом анализа проведенных исследований явились предложения по совершенствованию методики испытания элементно-компонентной базы на радиационную стойкость, введения для отдельных элементов дополнительных испытаний, а также по возможности использования в космических условиях элементов промышленного исполнения. Разработаны троированные системы ЦОС для ответственных применений с мажоритарными связями, как на уровне процессоров, так и в двунаправленных шинах интерфейса. Проведен анализ вероятностных характеристик надежности за счет холодного и горячего резервирования систем ЦОС и использования мажоритарных элементов. Разработана технология управления деградацией системы ЦОС в процессе эксплуатации, которая позволяет продлить срок активного существования космического аппарата на орбите.

В *четвертой главе* рассмотрена перспективная технология обеспечения отказоустойчивости и сбоеустойчивости систем ЦОС. Разработаны различные варианты алгоритмов распределенного системного диагностирования и взаимного информационного согласования, которые позволяют определить место (кластер, модуль обработки сигналов, процессор, интерфейсный узел) и вид (сбой, отказ, программный сбой) проявления неисправностей.

В *пятой главе* рассматривается сетевая организация аппаратных средств ЦОС, показываются новые возможности ее использования на борту КА и предоставляемые преимущества: гибкое масштабирование, возможность модернизации,

реконфигурируемость, повышение надежности, экономичность. Проведен сравнительный анализ надежности с известными бортовыми системами ЦОС, который показал при сетевой организации аппаратуры ЦОС возможность увеличения времени безотказной работы в 3...90 раз.

В *заключении* приводятся основные достигнутые результаты диссертационной работы и их возможности практического использования.

Приложения также являются информативными и содержат результаты научных исследований. В них представлены расчетные характеристики точности вычисления нелинейных функций, методика учета радиационных воздействий на радиоаппаратуру, синтез алгоритмов распределенного системного диагностирования и взаимного информационного согласования, копии актов внедрения результатов работы.

Отсюда видно, что в диссертационной работе В.Ю.Гришина содержится много результатов, использование которых позволяет повысить эффективность систем ЦОС и комплексов управления космическими аппаратами и продлить срок их активного существования.

Обоснованность основных научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в работе, подтверждена правильным использованием методов теории надежности радиотехнических систем, статистического оценивания, оптимизации вычислительных процессов, дискретной математики. Кроме теоретических расчетов некоторые технические решения проверены в процессе летных испытаний.

Достоверность основных результатов диссертации подтверждена корректным использованием современных методов расчета и апробацией на конференциях различного уровня. Полученные результаты не противоречат общепринятым научным положениям, и в частных случаях хорошо согласуются с известными результатами.

В целом диссертационная работа В.Ю.Гришина выполнена на высоком научно-техническом уровне, написана технически грамотным языком.

Новизна полученных результатов

Научная новизна полученных результатов состоит в разработке новых и совершенствовании известных алгоритмов приближенного вычисления нелинейных функций, определения амплитуды комплексного радиосигнала, предложены и усовершенствованы методики учета радиационных воздействий на бортовую аппаратуру космических аппаратов, уточнены методики испытаний отдельных компонентов на радиационную стойкость, разработан способ обеспечения сбое- и отказоустойчивости системы ЦОС, основанный на репликации задач, возможности самореконфигурации и самоуправления деградацией. Разработаны новые алгоритмы распределенного системного диагностирования и взаимного информационного согласования, которые обеспечивают автоматический поиск места и вида проявления неисправности, а также обнаружение и идентификацию кратных неисправностей, в том числе и враждебных неисправностей модулей цифровой обработки сигналов. Предложены принципы построения систем ЦОС и комплексов управления на основе сетевой архитектуры, которые обеспечивают существенное повышение скорости обмена информацией в дуплексных каналах связи и производительности, тем самым обеспечивая обработку в реальном времени.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что предложенные технические решения позволяют увеличить информационную производительность различных радиотехнических систем за счет создания

высокоскоростных систем ЦОС с сетевой архитектурой; увеличивается среднее время безотказной работы, что особенно важно для необслуживаемой аппаратуры. Одновременно с этим достигается улучшение показателей надежности, снижение объема аппаратуры и энергопотребления. Ряд результатов использован при разработке и производстве блоков аппаратуры ЦОС из состава системы контура управления движением космических кораблей серий «Союз-ТМА» и «Прогресс-М». Акты внедрения, содержащиеся в Приложении Г, подтверждают, что практические результаты использованы и внедрены в разработках ОАО «РКК «Энергия» и ОАО «Корпорация «Комета» (г. Москва).

Кроме того, следует отметить, что предложенные технические решения по повышению эффективности систем ЦОС носят межотраслевой характер. Они могут быть использованы для решения ряда задач первичной обработки информации в различных областях аэрокосмического сегмента, в том числе в аппаратуре наземных радиотехнических систем. Как следствие, это приводит к сокращению объема оборудования, затрат на программирование и возможности обеспечения работы в реальном масштабе времени.

Замечания по диссертационной работе

1. При анализе точности алгоритмов аппроксимации нелинейных функций (глава 2, приложение А) не используются общепринятые для оценки качества измерений среднеквадратические ошибки.
2. В главе 3 (с.12 автореферата, с.74,75 диссертации) не определена логика работы системы диагностики, не ясно ее место в структуре схемы рис. 3.6 (с.72 диссертации) и учет при расчете характеристик надежности.
3. При рассмотрении примеров (с. 82, 89, 91-94, 98 диссертации) в главе 4 отсутствуют оценки требуемых временных или программных затрат на реализацию работы алгоритмов взаимного информационного согласования или распределенного системного диагностирования.

Заключение

Считаю, что указанные недостатки диссертационной работы не отражаются на ее общей положительной оценке. Диссертация Гришина Вячеслава Юрьевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, имеющую существенное практическое значение для разработки аппаратных комплексов цифровой обработки сигналов космического базирования и содержащую ряд новых решений по повышению эффективности функционирования цифровых систем управления КА. Содержащиеся в диссертационной работе результаты целесообразно использовать на предприятиях радиотехнического профиля, разрабатывающих радио- и оптико-электронное оборудование космического назначения.

Наличие достаточного количества опубликованных работ в рецензируемых журналах (9 статей), патентов на изобретения (5 патентов РФ), хорошая апробация работы на конференциях различного уровня подтверждают новизну проведенных исследований и оригинальность предлагаемых решений.

Содержание автореферата соответствует диссертационной работе и отражает ее основные идеи, выводы и результаты.

Считаю, что диссертационная работа «Повышение эффективности систем цифровой обработки радиосигналов в аппаратуре космических средств» соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени

кандидата технических наук, требованиям п.п. 4,6,7,9 «Паспорта научной специальности 05.12.04», а ее автор – **Гришин Вячеслав Юрьевич** – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент:

Чистюхин Виктор Васильевич
кандидат технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
кафедра микроразвитых радиотехнических устройств и систем,
заведующий кафедрой.



Адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

Телефон: 8 (499) 710-95-41

Факс: 8 (499) 710-22-33

E-mail: ksl@mice.ru

Подпись к.т.н., профессора В.В.Чистюхина удостоверяю.

Ученый секретарь Ученого Совета НИУ МИЭТ

к.т.н., профессор



Н.М. Ларионов

4.05.16.