

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук профессора ТОЛСТОВА Евгения Федоровича на диссертационную работу Гришина Вячеслава Юрьевича на тему **«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 темы

Развитие современных средств дистанционного зондирования Земли связано со стремлением оперативно получить высококачественные снимки с максимально возможной детализацией объектов съемки. В существующих космических системах результаты съемки передаются в наземные пункты обработки информации, где осуществляется синтез и обработка полученных изображений, привязка к географическим картам, воссоздание рельефа местности и т.п., а также последующая передача дешифрованной информации потребителям. Такая технология приема, обработки и распространения геоинформации имеет свои положительные качества: возможность накопления и долговременного хранения снимков в базах данных, высокоточная обработка данных за счет привлечения мощных вычислительных ресурсов. Однако наличие промежуточного звена между потребителем информации и космическим аппаратом в виде пункта обработки и распространения информации приводит к задержке в выдаче изображений, что крайне нежелательно, например, в чрезвычайных ситуациях, требующих оперативных действий. Это обстоятельство привело к необходимости перенести обработку сигналов (хотя бы частично) на борт космического аппарата. Достаточного опыта эксплуатации подобных систем к настоящему времени не накоплено, поэтому задачи, возникающие при организации бортовой цифровой обработки сигналов (ЦОС), требуют разрешения. В связи с указанным актуальность исследований, результаты которых представлены в диссертации и связаны с рядом НИР и ОКР, ведущихся в ряде НИИ и промышленности, не вызывает сомнений.

Выполненная Гришиным В.Ю. диссертационная работа представляет собой решение имеющих существенное практическое и научное значение задач по повышению качественных показателей систем цифровой обработки сигналов (ЦОС), предназначенных для работы в составе бортовой аппаратуры современных космических аппаратов. Совершенствование вычислительных средств ЦОС и повышение их эффективности проводится по следующим ключевым направлениям: совершенствование алгоритмов приближенного вычисления наиболее употребляемых нелинейных функций, которые вычисляются многократно; повышение радиационной стойкости и живучести кластерных и распределенных систем ЦОС за счет новых технологий системного диагностирования и взаимного информационного согласования; повышение производительности аппаратуры ЦОС при сетевой организации аппаратных средств. Диссертация также посвящена улучшению показателей надежности резервированных структур при управляемой деградации аппаратуры и

мажоритарных принципах сохранения информации, использование которых позволяет продлить срок активного существования космического аппарата.

Структура и основное содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня сокращений, библиографического списка и четырех приложений. Основной текст и Приложения занимают 145 и 45 страниц соответственно; в диссертации содержится 38 рисунков, 12 таблиц; библиография включает 238 наименований; отдельный список содержит 29 работ автора.

Основное содержание диссертации составляет следующее.

Во введении обосновываются актуальность, научная новизна и практическая ценность диссертационной работы, формулируются цели и задачи исследований, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проводится анализ типовых задач, решаемых установленной на КА целевой аппаратурой получения радиофизических и оптических изображений, определены требования к перспективным бортовым системам ЦОС и вычислительного комплекса управления.

Во второй главе рассматриваются вопросы совершенствования методов приближенного вычисления нелинейных функций, наиболее часто и многократно используемых при обработке сигналов, рассматривается влияние точности вычислений на системные характеристики радиоаппаратуры и сложность алгоритмов.

В третьей главе рассматриваются методы повышения надежности бортовых систем обработки сигналов и вычислительных комплексов управления КА; подробно рассмотрены радиационные эффекты в компонентах аппаратуры ЦОС, разработаны предложения по совершенствованию методики их испытаний на радиационную стойкость; проведено исследование частных технических решений повышения надежности за счет резервирования систем ЦОС и использования мажоритарных элементов.

Материалы четвертой главы служат базой для построения отказо- и сбоеустойчивых систем цифровой обработки, в которых на основе взаимного информационного согласования удастся определить место (модуль обработки сигналов, процессор, узел связи) и вид (сбой, программный сбой, отказ) проявления неисправностей.

В пятой главе рассматривается сетевая архитектура систем ЦОС, возможности ее использования на борту КА с длительными сроками активного существования и сравнительный анализ надежности с известными системами обработки.

В заключении приводятся достигнутые результаты исследования в целом и их практическая реализуемость.

В приложениях содержатся алгоритмы и характеристики точности аппроксимации нелинейных функций, уточненная методика учета радиационных воздействий космического пространства, описание алгоритмов взаимного информационного согласования, копии документов о внедрении результатов работы.

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

Достоверность и новизна основных выводов и результатов

В ходе проведения исследований по теме диссертационной работы автор получил ряд результатов, которые обладают научной новизной, практической значимостью. Целью диссертационной работы автор поставил повышение эффективности «систем цифровой обработки радиосигналов и вычислительных комплексов управления космического базирования, что обеспечивает повышение точности вычислительных процессов, надежности функционирования космических аппаратов с длительными сроками активного существования». Для достижения поставленной цели автор:

- на основании анализа базовых алгоритмов цифровой обработки радиосигналов и сигналов оптических изображений определил требования к перспективным системам по производительности, скорости обмена информацией между процессорами и кластерами, требуемым объемам памяти;

- провел исследования точности алгоритмов вычисления или воспроизведения нелинейных функций для систем ЦОС и комплекса управления;

- исследовал радиационное воздействие космического пространства на основные компоненты систем ЦОС, провел расчеты интенсивностей отказов и разработал рекомендации по совершенствованию нормативных документов по испытаниям и сертификации аппаратуры космического базирования;

- разработал алгоритмы взаимного информационного согласования и диагностирования многопроцессорных или многокластерных систем обработки сигналов и управления;

- разработал принципы построения систем цифровой обработки сигналов и управления на основе сетевой архитектуры;

- провел исследование и соответствующие расчеты надежности предложенных структур, показал перспективность использования предложенных структур.

Итоги указанных работ и составляют новые научные и практические результаты. Основные положения и научные результаты, выносимые на защиту, подтверждены расчетами и анализом с использованием методов вычислительной математики, статистического моделирования.

Обоснованность основных научных положений выводов и рекомендаций, а также их достоверность подтверждается результатами имитационного моделирования, сравнительного анализа предложенных научно-технических решений с известными решениями, корректным использованием математического аппарата при решении задач оптимизации приближенных алгоритмов обработки и сходимостью результатов, полученных в диссертации, в частных случаях с известными результатами.

Ценность для науки и практики

Новые научно-технические результаты, полученные в диссертации и представляющие ценность для науки, состоят в следующем:

1. Разработана методика выбора порядка аппроксимирующего полинома при вычислениях нелинейных функций с осуществлением контроля точности вычислений и количества затрачиваемых операций.

2. Разработаны методы создания высоконадежных систем цифровой обработки сигналов с мажоритарными элементами в двунаправленных линиях связи между процессорами и модулями обработки сигналов.

3. Предложены новые алгоритмы распределенного системного диагностирования, взаимного информационного согласования с определением места и вида проявления неисправностей.

4. Разработаны методы повышения надежности систем обработки сигналов с управляемой деградацией надежности, с резервируемой функциональностью, с возможностью реконфигурации вычислительных средств.

5. Предложена методика построения гетерогенных цифровых систем на основе сетевой архитектуры с высокоскоростной коммутационной средой.

К числу наиболее интересных результатов диссертационной работы можно отнести результаты по исследованию алгоритмов вычисления амплитуды комплексного сигнала. Дело в том, что данная операция многократно применяется в когерентных радиотехнических системах и требует значительных вычислительных ресурсов. В диссертации показано, что для решения задач калибровки радиотехнической аппаратуры во время летно-конструкторских испытаний необходимо использовать высокоточные алгоритмы, требующие больших ресурсов. В случае решения задачи обнаружения объектов требования по точности вычислений снижаются и появляется возможность применения менее затратных с вычислительной точки зрения алгоритмов. Весьма интересной и перспективной является использованная в диссертации методика взаимной компенсации погрешностей различного происхождения.

Практическая значимость результатов диссертации определяется тем, что разработанные в ее рамках алгоритмы и методы организации вычислительных процессов позволяют реализовать бортовую аппаратуру обработки сигналов для установки на космическом аппарате, а разработанные методы повышения надежности – заметно увеличить сроки активного существования систем ЦОС и управления и, как следствие, самого космического аппарата.

Кроме того, следует отметить, что предложенные технические решения могут быть использованы для решения ряда задач первичной обработки информации в различных областях аэрокосмического сегмента, в том числе и для аппаратуры наземных радиотехнических систем. Показанная в диссертации возможность создания высокоскоростных систем ЦОС с сетевой архитектурой открывает широкие перспективы для увеличения информационной эффективности различных радиотехнических систем. Как следствие, это приводит к сокращению объема оборудования, затрат на программирование и возможности обеспечения работы в реальном масштабе времени.

Содержащиеся в диссертационной работе результаты целесообразно использовать на предприятиях радиотехнического профиля, разрабатывающих радио- и оптико-электронное оборудование космического назначения.

Практические результаты использованы и внедрены в разработках ОАО «Корпорация «Комета» и ОАО «РКК «Энергия» (г. Москва), о чем имеются соответствующие акты внедрения.

Критические замечания

1. В главе 2 при исследовании алгоритмов вычисления приближенных функций (с.7-9 автореферата, п.п. 2.2, 2.4, с.41-44, 49-55 диссертации) автор не приводит информации о влиянии погрешностей вычислений на контур управления космическим аппаратом.

2. В главе 2 (п. 2.3, с.47-48 диссертации) отсутствует оценка точности проведения статистических экспериментов. Вывод о потерях в пороговом отношении сигнал-шум порядка 0,1...0,2 дБ не очевиден, поскольку указанные значения находятся в пределах точности проведения эксперимента (рис. 2.5 диссертации).

3. В главе 3 для таблиц 3.1-3.3 (с.60-63 диссертации, таблицы 3, 4 на с.10 автореферата) не описаны особенности расчетов интенсивностей отказов и сбоев при радиационном воздействии.

4. В главе 4 отсутствует вероятностный анализ алгоритмов взаимного информационного согласования и распределенного системного диагностирования.

Заключение

Считаю, что указанные недостатки диссертационной работы не отражаются на ее общей положительной оценке. Диссертация Гришина Вячеслава Юрьевича является законченной квалификационной научно-исследовательской работой, имеющей существенное практическое значение и содержащую ряд новых решений актуальной задачи повышения эффективности функционирования систем цифровой обработки сигналов и комплексов управления КА.

Опубликованные работы отражают основные разделы диссертации. Результаты диссертации достаточно полно опубликованы в 29 печатных научных работах, в том числе в 9 статьях, вышедших в свет в изданиях, входящих в перечень ВАК, 5 патентах РФ, а также в 3 статьях и 12 тезисах докладов на конференциях различного, в том числе и международного уровня.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и в достаточной мере отражает ее основные положения.

В связи с вышеизложенным, 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 кандидатским диссертациям, а ее автор – **Гришин Вячеслав Юрьевич** – достоин присуждения ученой степени *кандидата технических наук* по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент:

Начальник отдела ЗАО «АЭРОКОН»

д-р технических наук, профессор



Толстов
Евгений Федорович

Адрес: ЗАО «АЭРОКОН»,

ул. Жуковского, 1, Жуковский, Московская обл., 140180

Телефон: 8 (495) 556-43-77

E-mail: E_tolstov@mail.ru

Подпись д.т.н., профессора Е.Ф.Толстова удостоверяю.

Ученый секретарь Совета
ЗАО «АЭРОКОН»



Э.Г. Багдасарян