

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель генерального директора  
АО «РКЦ «Прогресс», директор филиала –  
Главный конструктор НПП «ОПТЭКС»



к.т.н. Бакланов А.И.

« 28 » 04 2016 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертацию 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 ТЕМЫ**

Разработка и создание аппаратуры для космических аппаратов является сложным высокотехнологичным процессом, требующим усилий многих коллективов различного профиля. К современным космическим радиотехническим системам и оптическим средствам дистанционного зондирования предъявляются повышенные требования в части параметров разрешающей способности, точности измерения координат, зон обзора и захвата, оперативности и времени доставки информации потребителю. Решение такой важной задачи как информационное обеспечение больших территорий в чрезвычайных ситуациях требует организации обработки сигналов и передачи готовых изображений в реальном времени. Эти требования заставляют переносить решение значительной части задач по обработке сигналов и изображений на борт космического аппарата. Следует отметить, что попытки решения таких задач уже предпринимались. Так, например, на станции «Мир» в модуле «Природа» работала бортовая вычислительная машина для обработки радиосигналов. Однако в настоящее время космические корабли с бортовой цифровой обработкой и формированием изображений отсутствуют.

Немаловажной для космического аппаратостроения является задача обеспечения вычислительными процессами контура управления космическим аппаратом. В этом случае к вычислительным средствам предъявляются жесткие требования по надежности функционирования, поскольку в необслуживаемых космических аппаратах выполнение каких-либо других задач невозможно без надежного управления. Поддержание работоспособности аппаратуры, восстановление ее после сбоев и отказов или замена вышедших из строя элементов возможны только за счет внутренних резервов. С учетом важности и ответственности данной задачи за проект в целом для ее решения необходимо привлечь все возможные ресурсы: аппаратные, функциональные, программные.

Известные рекомендации и технические решения не всегда позволяют решать задачу повышения надежности аппаратуры с достаточно высоким качеством. Так, например, наличие двунаправленных систем связи между распределенными вычислительными кластерами, не смотря на резервирование, может привести к потере информации, поэтому требуются дополнительные меры по обеспечению сохранности информации в виде мажоритарных устройств. Другим интенсивно развивающимся направлением повышения сбое- и отказоустойчивости РЭА является применение методов взаимного информационного согласования. Диссертационная работа Гришина В.Ю.

посвящена комплексному решению данных вопросов, дальнейшему развитию методов повышения эффективности аппаратуры (обеспечение высокой точности, надежности, радиационной стойкости, производительности) космического назначения, поэтому тематика работы является актуальной.

### НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Автор в диссертационной работе получил ряд результатов, которые обладают научной новизной. К числу наиболее значимых научных результатов можно отнести:

– разработаны алгоритмы приближенного вычисления гармонических функций, обратных функций, функции модуля комплексного числа, которые позволяют создавать библиотечные функции для систем ЦОС с управляемой вычислительной сложностью;

– разработана методика взаимной компенсации погрешностей (ошибок дискретизации данных, ошибок округления коэффициентов, методических ошибок) при использовании полиномов наилучшего приближения Чебышева, которая позволяет снизить на порядок суммарную ошибку аппроксимации нелинейных функций;

– показано, что при вычислении амплитуды комплексного радиосигнала в задаче обнаружения сигнала с неизвестной начальной фазой допускается применение простых алгоритмов пониженной точности, а при калибровке сигналов и радиоаппаратуры – высокоточных алгоритмов повышенной сложности;

– показано, что при корректировке программного обеспечения наиболее критичными по накопленной дозе являются элементы FLASH-памяти из-за низкой стойкости по функции «стирание-запись»;

– предложены способ и устройство обеспечения сбое- и отказоустойчивости вычислительной системы, основанные на репликации задач, возможности самореконфигурации и самоуправлении деградацией;

– разработаны новые алгоритмы распределенного системного диагностирования и взаимного информационного согласования, которые позволяют в различных структурах ЦОС выявлять место возникновения неисправностей (приемо-передатчик системы ввода-вывода, модуль обработки сигналов, процессор) и вид проявления неисправностей (сбой, отказ, программный сбой), что обеспечивает сбое и отказоустойчивую работу систем ЦОС;

– разработана модель многопроцессорной системы ЦОС, в которой обмен информацией осуществляется по дуплексным каналам связи, обеспечивающая идентификацию враждебных неисправностей модулей обработки сигналов с максимально возможной точностью;

– разработана методика построения модульных систем ЦОС, включающих высокоскоростные каналы обмена информацией, коммутационную среду, резервированные цифровые модули обработки сигналов; такие системы позволяют увязывать в единый комплекс уже существующие решения и обладают возможностями унификации, наращивания масштабируемой производительности, конфигурируемости, резервирования функциональности, модернизации, многофункциональности;

– проведены исследования и найдены количественные оценки надежности известных устройств обработки сигналов, а также предлагаемых технических решений и устройств, что позволяет произвести выбор наиболее эффективного метода с учетом возможностей реализации.

### ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в аппаратуре цифровой обработки данных космического базирования, при проектировании и

разработке вычислительных средств формирования радиофизических и оптических изображений космических комплексов дистанционного зондирования Земли. Использование в промышленности представленных результатов и рекомендаций позволит сократить сроки испытаний и сертификации компонентов и элементов аппаратуры, унифицировать вычислительные средства для различных приложений, тем самым сэкономить на этапах проектирования и производства РЭА.

К числу наиболее значимых, на наш взгляд, практических результатов диссертации можно отнести:

- результаты работы по уточнению нормативной базы, которая позволяет повысить достоверность оценки радиационной стойкости компонентов и аппаратуры космических аппаратов;
- экспериментальные и расчетные данные по поглощенным дозам и тиристорным отказам в интегральных схемах систем ЦОС, которые позволяют определить критичность по радиационной стойкости элементов и проводить соответствующие испытания;
- разработанные рекомендации по корректировке программного обеспечения, которые позволяют восстановить содержимое FLASH-памяти;
- результаты анализа последствий от воздействия тяжелых заряженных частиц на микропроцессорные комплекты, которые позволяют разработать методы парирования сбоев и отказов;
- алгоритмы вычисления нелинейных функций с контролируемой точностью и вычислительной сложностью, которые хорошо приспособлены для реализации на ПЛИС;
- высоконадежные ресурсосберегающие структуры и архитектуры систем обработки сигналов и комплексов управления, которые позволяют существенно увеличить длительность срока активного существования космического аппарата.

Практические результаты диссертации использованы при разработке и производстве аппаратуры цифровой обработки космических аппаратов различных классов: Союз-ТМА, Прогресс-М, 14Ф112, 14Ф142 и др. Аппаратура прошла летные конструкторские испытания, результаты которых подтвердили состоятельность заложенных в нее концептуальных решений и научно-обоснованных рекомендаций. Результаты исследований были внедрены в ОАО «Корпорация «Комета» и ОАО «РКК «Энергия», что подтверждено соответствующими актами о внедрении.

#### РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

Полученные в диссертации результаты целесообразно использовать в научно-исследовательских и научно-производственных предприятиях РФ, связанных с разработкой и производством аппаратуры для космической отрасли (ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», ФГУП «ГКНПЦ имени М.В. Хруничева», АО «РКЦ «Прогресс», ЦНИИмаш, ФГУП «КБ «Арсенал», АО «ИСС», ОАО «РКК «Энергия», ОАО «НИИ КП», ОАО «НИИЭМ» и др.) при техническом обосновании перспектив развития аппаратуры цифровой обработки сигналов, формировании тактико-технических заданий на разработку аппаратуры ЦОС.

Реализация на практике полученных результатов позволяет продлить время жизни и, соответственно, эксплуатации в штатном режиме целевой аппаратуры и системы управления космическим аппаратом. Положительный эффект достигается за счет повышения надежности всех компонент, связанных с вычислительными процессами на борту космического аппарата, как введением аппаратной, информационной и программной избыточности, так и при наземном допусковом контроле элементов по радиационной стойкости.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Отличительной особенностью представленной В.Ю. Гришиным диссертации является широта охвата поставленной проблемы и решаемых задач, которые посвящены исследованию и разработке методов повышения эффективности устройств обработки радиосигналов. К основным направлениям практически важных исследований можно отнести определение базовых требований к перспективным системам обработки; повышение точности вычисления или воспроизведения нелинейных функций, в частности, определения амплитуды радиосигнала; исследование радиационных эффектов в микропроцессорах и элементах памяти; повышение надежности аппаратными средствами (троирование, применение мажоритарных элементов, холодного и горячего резервирования) и программными средствами (распределенное системное диагностирование, взаимное информационное согласование); развитие методов построения аппаратуры ЦОС на основе сетевой технологии с использованием коммутационной среды и т.п.

Все основные результаты диссертационной работы в достаточной мере опубликованы в 29 печатных научных работах. К основным работам по теме диссертации относятся 12 статей, в том числе 9 статей в периодических изданиях, рекомендованных ВАК, 12 материалов и тезисов докладов, 5 патентов РФ.

Исследования по тематике представленной диссертации целесообразно продолжить в направлении создания библиотек вычисления нелинейных функций для ПЛИС и процессоров, реализации в проектируемой аппаратуре сетевой технологии построения бортовой аппаратуры ЦОС, отработки совокупности предложенных алгоритмов на борту космических аппаратов.

Представленные в работе положения, выводы и рекомендации являются обоснованными и достоверными, что определяется и подтверждается корректным использованием математического аппарата, совпадением теоретических расчетов с известными данными в частных случаях и данными, полученными путем статистического моделирования; часть результатов подтверждена экспериментальной проверкой разработанных устройств в процессе летных испытаний и при испытаниях с использованием стендового оборудования.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации и позволяет сформировать обоснованное представление по всей работе в целом. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Диссертационная работа написана грамотно, основные положения сформулированы четко. Графические материалы выполнены аккуратно.

## КРИТИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

1) В алгоритме обработки радиоголограммы (глава 1, п.1.5, стр.23-26, структурная схема на рис.1.5 диссертации) отсутствует операция компенсации миграций сигнала по элементам дальности, поэтому приведенные требования к производительности системы ЦОС (стр.25,26 диссертации) оказываются несколько заниженными.

2) При расчете вероятности безотказной работы системы ЦОС без достаточного обоснования взята поглощенная доза 10 крад (стр.11 автореферата, стр.68, рис.3.3 диссертации).

3) В главе 5 (стр. 14 автореферата, стр.106-110 диссертации) в качестве основных интерфейсов рассматриваются SpaceWire-RT и SpaceFibre, при этом отсутствует сравнение с другими интерфейсными шинами (RapidIO, CAN, ARINC 429 и др.).

4) В тесте автореферата и диссертации имеются погрешности редакционного и оформительского характера.

Указанные недостатки диссертационной работы не носят принципиального характера и не влияют на ее общую положительную оценку.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Представленная диссертационная работа В.Ю.Гришина является законченной научно-исследовательской работой, содержащей научно-обоснованные разработки для аппаратуры цифровой обработки сигналов и комплексов управления космическими аппаратами, которые обеспечивают повышение точности обработки сигналов, устойчивость к радиационным воздействиям космического пространства, сбое и отказоустойчивость работы аппаратуры ЦОС в автономном режиме функционирования, повышение надежности систем ЦОС и срока активного существования космического аппарата в целом, что имеет важное хозяйственное значение.

2) По актуальности, глубине и широте проведенных исследований, научной и практической значимости полученных результатов диссертация полностью отвечает требованиям п. 9,10,11,13 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

3) Автор диссертации – Гришин Вячеслав Юрьевич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв ведущей организации на диссертацию В.Ю. Гришина рассмотрен на заседании НТС, протокол № 4 от 27 апреля 2016 г.

Отзыв составил

к.т.н., первый заместитель директора НПП «ОПТЭКС»  М.В.Клюшников

Фамилия, имя, отчество (полностью) автора отзыва	Клюшников Максим Владимирович
Ученая степень	Кандидат технических наук
Ученое звание	-
Место работы	Филиал АО «Ракетно-космический центр «Прогресс» - Научно-производственное предприятие «Опτικο-электронные комплексы и системы», г. Москва, Зеленоград Филиал АО "РКЦ "ПРОГРЕСС" НПП "ОПТЭКС"
Сокращенное наименование организации	
Должность	Первый зам. директора, зам .главного конструктора
Почтовый адрес	124460, г.Москва, Зеленоград, ул. Конструктора Гуськова, д. 8, стр. 2
Телефон	+7 (499) 734-94-93, 734-22-22
Факс	+7 (499) 734-22-22
E-mail	optecs@mail.ru

Подпись Клюшникова М.В. удостоверяю.

Специалист по кадрам 1 категории  
отдела кадров филиала АО «РКЦ «Прогресс» - НПП «ОПТЭКС» 

«28» апреля 2016 г.

