

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный  
авиационный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «УГАТУ»)

К. Маркса ул., д. 12, Уфа, 450008.  
телефон: +7 (347) 272-63-07.  
факс: +7 (347) 272-29-18.  
e-mail: office@ugatu.ru

13.09.16 № 920/1306-13

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Куликова Геннадия Григорьевича

на диссертационную работу Смелычаковой Галины Александровны на тему  
«ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ  
СИСТЕМ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации  
(промышленность)»

### 1. Актуальность диссертации

В работе решается актуальная задача современного ракетостроения –  
создание систем автоматического управления (САУ) на основе  
управляющих вычислительных систем (УВС), обеспечивающих надёжную  
работу системы во время предполётной подготовки и далее во всем  
диапазоне условий полета, включая случайные отказы её элементов. В  
настоящее время в теории управления объектами авиационно-космической  
техники определена концепция проектирования комплексных,  
интеллектуальных систем управления, контроля и диагностики с  
применением эффективных способов аппаратно-программной интеграции

000095 \*

между взаимодействующими подсистемами и элементами как в самой САУ, так и в объекте. Это открывает возможность создания УВС САУ типа FADEC (A full authority digital electronics control (FADEC)). Данная концепция разработки и применения САУ основана на обобщении и формализации опыта математического и полунатурного моделирования САУ различных типов. Вычислительные ресурсы УВС позволяют реализовывать современные и перспективные алгоритмы управления, контроля и диагностики (тестирования) процессов в реальном времени. В данной работе решается именно задача интеллектуализации проектирования и реализации САУ на основе УВС. Такие решения также соответствуют концепции перехода на качественно новый уровень создания РКТ.

## **2. Научная новизна и новые результаты**

Научная новизну исследований составляют следующие результаты:

- разработана модификация комплексного численно-аналитического метода статистического моделирования для оценки функциональной надежности УВС с разветвлённой архитектурой, позволяющая учитывать сложные алгоритмы функционирования УВС, характеризующие только отдельными экспертными логическими и параметрическими показателями в нечёткой (неоднозначной форме) сужающих всё возможное множество комбинаций состояний компонентов УВС;
- обоснована архитектура резервированного источника вторичного электропитания (ИВЭП) для применения в составе УВС; обоснована и разработана модификация блока контроля трехканального модуля УВС; обоснована архитектура контроллера магистрали для специализированного вычислительного модуля (СВМ). Данные технические решения основаны на логическом анализе многопараметрических теоретико-вероятностных характеристик проявления отказов элементов системы, получаемых по указанному выше методу;
- разработана методика анализа целостности сигналов модулей УВС с использованием ПО Ansys.



В теоретическом плане предложены новые обобщения и уточнены известные теоретические уравнения статистики, расширяющие возможности существующих методик анализа показателей надёжности. Получены и качественные и количественные оценки зависимостей базовых параметров, определяющих показатели надёжности конкретных вычислительных систем. Определены условия и правила для интеллектуальной поддержки выбора технических решений в процессе проектирования УВС РКТ.

### **3. Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных результатов работы основывается на использовании известных принципов имитационного моделирования, положений теории надёжности и теории вероятности, подтверждаются результатами вычислительных экспериментов, демонстрирующих соответствие результатов моделирования результатам аналитических моделей и реальных экспериментов при одинаковых исходных данных.

Основные математические и логические соотношения не противоречат базовым уравнениям теории вероятностей и статистики и теории формальной логики. Используемые аппроксимирующие зависимости соответствуют известным эмпирическим зависимостям.

Отличия расчетных данных и экспертных, обобщающих опытные решения, полученных в ходе исследований на моделирующем комплексе отработки аппаратуры и программ (КОАП), находятся в пределах требуемых точностей задаваемых техническими условиями, что подтверждает достаточную степень адекватности предложенной модели и подтверждает возможность применения её для расчетных исследований надёжности. Основные научные положения диссертации отражены в 19 научных статьях, 4 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, получены 4 патента на изобретение в соавторстве. Кроме того, результаты работы доложены на более чем 10 международных, отраслевых форумах и конференциях.

### **4. Практическая ценность работы**

Практическую значимость имеют результаты работы, предназначенные для использования на этапе проектирования УВС, а именно: предложенный метод интегральной оценки надежности УВС и реализующее его программное обеспечение для анализа и выбора проектных решений по обеспечению требуемого уровня безотказности системы; разработанное методологическое обеспечение по использованию данного программного продукта. Представляют интерес технические решения, предназначенные для повышения надежности конкретных вычислительных систем.

Научные положения и разработки диссертации приняты для использования в АО «НПО автоматики имени академика Н.А. Семихатова» (г. Екатеринбург) при проектировании бортовых цифровых вычислительных систем, что подтверждается соответствующим актом, представленным в приложении к диссертации.

## **5. Содержание диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка используемой литературы и шести приложений. Объем диссертации 172 страницы, список литературы содержит 138 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы и сформулированы задачи исследования. Заявлена новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой** главе представлены: результаты анализа состояния в области проектирования УВС САУ объектами РКТ и результаты анализа известных методов и методик оценки надежности УВС на этапе проектирования системы. Сформулированы функциональные требования, предъявляемые к архитектуре современных и перспективных УВС САУ РКТ. Определены задачи повышения надежности УВС путём горячего резервирования, развития программно-аппаратных средств контроля резерва и восстановления компонентов системы при сбоях, совершенствования технических решений.



**Вторая** глава диссертации посвящена развитию методов и средств сравнительного анализа надежности вариантов архитектуры УВС, а именно: обоснованию выбора методики анализа надежности вариантов архитектуры, разработке модификации метода статистического моделирования для оценки функциональной надежности УВС. В качестве критерия выбора более надёжной архитектуры предложено использовать отношение вероятностей отказов вариантов на интервале основной работы системы.

Разработано программное обеспечение (ПО) для проведения сравнительного анализа надежности вариантов архитектуры УВС, реализующее создание и проверку моделей вариантов, автоматизированную оценку показателей надежности и представление результатов анализа.

**В третьей главе** на основе проведенного анализа для использования в составе УВС рекомендован резервированный источник вторичного электропитания со схемой отключения канала и схемой нейтрализации параметрического отказа. Предложена модификация блока контроля трехканального модуля бортовой цифровой вычислительной системы (БЦВС). Обоснована архитектура контроллера магистрали межмодульного взаимодействия для специализированного модуля БЦВС.

Показано, что наиболее эффективным средством для решения данных задач является расчётно-аналитическая модель расчета показателей надёжности.

**В четвертой** главе рассмотрены технические и методические средства, применяемые для экспериментальной отработки программного и аппаратного обеспечения УВС на моделирующем стенде, проведена проверка предложенного во второй главе метода оценки надежности УВС путем сравнения результатов моделирования реальной системы с экспериментальными данными. Предложено решение задачи анализа целостности сигналов проектируемых плат посредством ПО Ansys. Проведена оценка целесообразности восстановления вычислительных модулей БЦВС в полете.

**Заключение** по результатам работы подтверждают результаты решения поставленных задач.

Изложенные материалы диссертационного исследования, в основном, являются структурированными и логичными, применяемые термины – корректными.

Формат и объем автореферата являются приемлемыми, достаточно полно отражающими представленные научные и практические результаты.

## **6. Замечания**

По работе можно сделать следующие замечания:

1. Результаты системного анализа проектных задач в соответствии с этапами жизненных циклов систем (моделирование, проектирование, эксплуатация) представлены в работе в традиционной форме, в виде семантических (смысловых) описаний и спецификаций (таблиц, схем). Было бы целесообразно использовать для этого предметно-ориентированные языки, например IDEF, UML, VRMN, OWL — Web Ontology Language, и соответствующие им системы моделирования (представления) знаний.
2. На стр. 46-58, по сути, изложена формальная модель анализа надёжности УВС на объектно-ориентированном языке программирования Delphi для операционной системы Windows XP/7/8. Было бы целесообразно исследовать возможность применения специализированных инженерных пакетов, например МАТСТАТ, МАТЛАБ и др.
3. Не ясно, насколько предлагаемая структурно-параметрическая математическая модель анализа надёжности САУ, будет эффективной при исследовании многоразового применения РКТ, поэтому вывод 4 на стр. 119 о нецелесообразности восстановления вычислительного модуля в полёте является спорным.
4. Утверждение об эффективности исследуемых архитектур с физическим троированием каналов (см. рис. 3, рис. 4 автореферата) является так же спорным, так например, в методологии FADEC для мажоритарного



контроля предлагается заменить один из контролируемых каналов его моделью.

5. В работе, в отдельных местах, необоснованно используется «технический жаргон» для определения известных в науке понятий. Некорректные записи формул. Отсутствуют размерности некоторых переменных в графиках (см. 3.1.3 – 3.1.4).

Указанные замечания не снижают основной ценности результатов выполненной работы, а скорее носят рекомендательный характер для дальнейших исследований.

## 7. Заключение

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-технической проблемы современного ракетостроения – проектированию новых систем автоматического управления РКТ применяемой в широком диапазоне условий полёта на основе предлагаемой расчётно-аналитической модели надёжности УВС, является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, содержит новые результаты представляющие научную и практическую ценность, соответствует требованиям ВАК РФ пп. 9-14 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор – Смельчакова Галина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (промышленность)»

Официальный оппонент

Куликов Геннадий Григорьевич

Профессор кафедры «Автоматизированные

Подпись *Александрова С.С.*

системы управления» ФГБОУ ВО

Удостоверяю « 03 » 20

«Уфимский государственный

Начальник отдела документационного обслуживания и архива *Александрова С.С.*

авиационный технический университет),

доктор технических наук, профессор

