

На правах рукописи

АНТИМИРОВ Владимир Михайлович



**СОЗДАНИЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ УПРАВЛЯЮЩИХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАБОТЫ
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

05.13.15 – Вычислительные машины и системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2006

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Научно-производственном объединении автоматики»

Научный консультант доктор технических наук,
 профессор Зольников
 Владимир Константинович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
 профессор Хетагуров
 Ярослав Афанасьевич

 доктор технических наук,
 профессор Прохоров
 Николай Леонидович

 доктор технических наук,
 профессор Бурковский
 Виктор Леонидович

Ведущая организация Московский государственный
 технический университет
 им. Н.Э. Баумана

Защита диссертации состоится 29 марта 2006 г. в 15 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.073.01 при Институте проблем информатики РАН по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, 44, кор. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института проблем информатики РАН.

Автореферат разослан 21 февраля 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.Н.Гринченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В результате распада СССР резко изменилась геополитическая обстановка в мире. Приближение военных баз непосредственно к границам нашей страны, непрерывное совершенствование потенциальным противником системы противоракетной обороны, ракетно-ядерного оружия и обычных вооружений является явной угрозой национальной безопасности нашей страны.

Для обеспечения в этих условиях возможности адекватного и своевременного ответа на данные угрозы необходимо развитие основного звена сохранения паритета – стратегических ракетно-ядерных средств морского базирования. Кроме того, в последнее время обострилась борьба между ведущими государствами и Россией за рынок вывода в космическое пространство объектов различного назначения.

В данной работе поставлена задача разработки самоорганизующихся управляющих вычислительных комплексов (УВК) для работы в экстремальных условиях в реальном времени и построения на их основе систем управления (СУ) новых и модернизации находящихся в эксплуатации изделий морского базирования, а также СУ ракетных комплексов для вывода в космос аппаратов различного назначения.

Для возможного применения стратегических вооружений при более совершенных системах активного противодействия, включающих высокоинтенсивные электромагнитные и ионизирующие излучения с изменяемыми амплитудно-частотными характеристиками и спектральным составом, необходимо создание нового семейства СУ. Эти системы должны отвечать современным требованиям по точности наведения, сокращению времени предстартовой подготовки и гарантировать выполнение целевых задач, работая в широком диапазоне температур, механических нагрузок и при направленном активном противодействии.

Управляющие вычислительные комплексы СУ особо опасными объектами – атомными электростанциями, ядерными реакторами, химическими производствами и т.п., а также робототехническими комплексами (РТК) должны обеспечивать надёжную работу в жёстких условиях эксплуатации. Решение задачи разработки УВК для опасных объектов в рамках общей программы значительно снизит суммарные затраты на их реализацию.

Работы по созданию УВК СУ нового поколения выполнялись в соответствии с рядом постановлений правительства (ПП) и указа Президента РФ (ПП РФ от 15.09.92 №716-54 и от 30.12.98 №1591-71, указ Президента РФ от 10.11.98 №1337, ПП РФ от 03.06.03 №321).

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является создание работающих в экстремальных условиях и в реальном времени, самоорганизующихся УВК для проектирования на их основе новых СУ и модернизации СУ, находящихся в эксплуатации, изделий морского базирования, комплексов вывода на орбиту космических аппаратов, а также СУ особо опасных объектов и РТК.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ состояния и определить направления развития УВК для работы в экстремальных условиях в реальном времени;
- определить возможности отечественной электронной промышленности (ЭП) по созданию специализированных БИС для создания УВК, сформировать

требования к ним и обосновать архитектурные и структурно-логические решения;

- сформулировать целевые функции и обосновать принципы построения и архитектуру самоорганизующихся УВК нового поколения;
- обосновать архитектуру центральной цифровой вычислительной системы и средств взаимодействия подсистем;
- оптимизировать архитектурные и структурно-логические решения для самоорганизации УВК реального времени при работе в экстремальных условиях;
- определить принципы построения и архитектуру специализированных вычислителей подсистем управления и коррекции параметров движения;
- провести исследование путей обеспечения гарантированной надежности работы УВК нового поколения в заданных ограничениях;
- разработать базовые компоненты самоорганизующихся УВК, решить задачи их реализации и применения в СУ нового поколения различного назначения;
- разработать средства комплексного проектирования и испытаний всех компонентов УВК с целью ускорения их создания и обеспечения достоверности верификации при разработке и тестирования в процессе серийного производства.

Методы исследования основываются на теории систем управления, методах анализа и синтеза вычислительных машин и систем, теории исследования операций, теории надежности; аппарате моделирования сложных систем; методах структурного и объектно-ориентированного программирования; имитационном и параметрическом моделировании; теории взаимодействия излучения с веществом; на вычислительных экспериментах.

Научная новизна. В диссертации получены следующие основные результаты, характеризующиеся научной новизной:

- направления создания, принципы построения, архитектура и методы проектирования самоорганизующихся УВК для создания на их основе семейства СУ нового поколения, обеспечивающих достижение целевых показателей на уровне современных требований, унификацию аппаратных и программных средств, а также значительное сокращение сроков и трудоёмкости создания УВК и СУ в целом;
- архитектура и методы реализации специализированных автономных вычислителей подсистем управления, инерциальной навигации, оптической и спутниковой коррекции, а также коррекции движения по геофизическим полям Земли. Они заложили основу создания данных подсистем как законченных унифицированных измерительно-вычислительных модулей, которые могут использоваться для создания новых и модернизации СУ различного назначения, чем обеспечена простота развития и минимизация затрат на проектирование;
- оригинальные структурно-логические решения, обеспечившие оптимизацию основных характеристик СБИС, УВК и СУ на их основе и увеличение интегрального показателя качества более чем на порядок. Новизна предложенных решений подтверждена большим количеством авторских свидетельств на изобретения;
- архитектурные и структурно-логические решения обеспечения работы УВК в экстремальных условиях в реальном времени, в том числе при воздействии ионизирующих и электромагнитных излучений большой интенсивности, отличающиеся автоматической перестройкой структуры с учетом неопределённо-

сти характеристик потока отказов, параметров системы контроля и деградации параметров БИС;

– модификация алгоритмов индивидуальных вычислителей подсистем оптической коррекции (ПОК) и корреляционно-экстремальной навигации (КЭН) для параллельного решения задач. Его основой является рациональное распределение задач между программным и аппаратурным уровнями и возможность автоматической перестройки структуры для обеспечения заданной надёжности и повышения эффективности работы УВК и СУ в целом;

– методы и средства комплексного проектирования, отладки и испытаний аппаратурного и программного обеспечения, отличающиеся возможностью параллельной разработки различных видов обеспечения и сокращением сроков их создания.

Практическая значимость и результаты внедрения. Основным практическим результатом работы является создание принципиально нового поколения УВК, обеспечивающего работу в экстремальных условиях в реальном времени и создание СУ на их основе. Ими оснащены вновь вводимые и модернизированные изделия морского базирования и комплексы вывода на орбиту космических объектов. Самоорганизующиеся УВК соответствуют современным требованиям по функциональности, надёжности, производительности, энергопотреблению, габаритам и массе. При этом обеспечено повышение точности характеристик, сокращение времени предстартовой подготовки, надёжное функционирование СУ в условиях применения средств активного противодействия.

На примере создания РТК для проведения работ в зоне радиоактивного загрязнения показана возможность и эффективность применения самоорганизующихся УВК в системах гражданского назначения.

Сформулированные функциональные требования к СБИС, УВК и СУ нового поколения явились основой развития научной и промышленной базы автоматизации их проектирования и производства, которая является важным вкладом в решение проблемы создания современных отечественных наукоёмких технологий.

Научные и практические результаты диссертационной работы внедрены на базовых предприятиях и используются в учебном процессе ВУЗов РФ.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на семинарах и совещаниях Научного Совета по проблемам управления и навигации, объединённых научных советах РАН «Научные основы построения вычислительных, телекоммуникационных и локальных сетей», «Федеральные проблемы создания элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем». Результаты работы докладывались на XIV, XVI, XXIII межотраслевых научно-технических конференциях памяти Н.Н.Острякова (Ленинград, 1984, 1988; Санкт-Петербург, 2002); международных научных конференциях «Математические методы в технике и технологии – ММТТ-18» (Казань, 2005) и «Авиация и космонавтика» (Москва, 2005); всероссийских конференциях «Интеллектуализации управления в социальных и экономических системах» (Воронеж, 2003-2005); VI, VIII международных конференциях «Кибернетика и технологии XXI века» (Воронеж, 2004-2005); VII всероссийской научно-технической конференции «Повышение эффективности средств обработки информации на базе математического

моделирования» (Тамбов, 2005); российской научно-технической конференции «Информационные технологии (ИТ-2005)» (Воронеж, 2005); IV международной научно-практической конференции «Проблемы регионального управления, экономики, права и инновационных процессов в образовании» (Таганрог, 2005); международной научно-технической конференции «Системные проблемы качества, математического моделирования и информационных технологий» (Сочи, 2005); IV и V международных практических конференциях «Влияние внешних воздействующих факторов на элементную базу аппаратуры авиационной и космической техники» (Королев, 2005, 2006); российской конференции «Радиационная стойкость электронных систем. «Стойкость - 2005» (Москва, 2005).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 67 основных работ, в том числе 19 в изданиях, рекомендованных ВАК, две монографии; получено 15 авторских свидетельств на изобретения. В работах, опубликованных в соавторстве, личное участие автора заключается в определении цели и задач работы, в выполнении научно-технических исследований и анализе эффективности их результатов, в разработке основных элементов УВК и их внедрения в составе СУ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Материалы диссертации изложены на 253 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, научная новизна, практическая значимость результатов.

В первой главе проведен анализ состояния и тенденций развития самоорганизующихся УВК и СУ нового поколения и микроэлектронных компонентов (МЭК) для их создания, а также методологии их проектирования. Рассмотрены задачи развития технического, математического и программного обеспечения УВК СУ, работающих в реальном времени. Проведена постановка задач исследования и создания самоорганизующихся УВК.

К началу проведения работы было создано три поколения СУ: первое и второе – это аналоговые и аналого-цифровые с бортовой цифровой вычислительной машиной (БЦВМ). Они имели ограниченные возможности, так как расчет траектории осуществлялся корабельными вычислительными машинами с последующим формированием полетного задания, что отрицательно сказывалось на точности работы СУ и увеличивало время предстартовой подготовки. Этот недостаток частично был устранен в СУ третьего поколения, в которых был осуществлен переход на прямой расчет траектории в процессе полета за счет перевода всех задач на БЦВМ. Такие системы до настоящего времени находятся в эксплуатации. Накопленный опыт разработки и эксплуатации подтвердил их эффективность и послужил основой для дальнейшего развития теории и практики создания бортовых УВК.

В соответствии с проведенным анализом тенденций развития УВК и специализированных МЭК для их разработки сделан вывод о необходимости полной переработки аппаратных, математических и программных средств УВК нового поколения. Для выполнения целевых функций СУ в новых условиях необходимо обеспечить минимизацию времени подготовки, значительное повышение точно-

сти выведения объекта управления, преодоление современных и перспективных средств активного противодействия.

Проведённый анализ недостатков УВК предыдущих поколений позволил сделать вывод о необходимости перестройки архитектуры вычислительных средств на основе многомашинной системы, включающей БЦВМ и индивидуальные подсистемы инерциальной навигации и коррекции параметров движения объекта управления.

Для создания УВК с иерархической структурой необходимо обосновать их архитектуру, определить состав подсистем управления и коррекции, перераспределить задачи между БЦВМ и подсистемами для оптимизации их решения, обосновать архитектуру БЦВМ и подсистем, с учётом возможностей отечественной ЭП, определить требования к специализированным БИС.

Вторая глава посвящена вопросам обоснования требований к целевым функциям и характеристикам самоорганизующихся УВК для работы в экстремальных условиях в реальном времени. Рассмотрены принципы их построения, результаты оптимизации архитектурных и структурно-логических решений, повышения производительности за счёт специализации системы команд вычислителей и динамической перестройки тактовой частоты.

Выделены задачи развития современных отечественных самоорганизующихся УВК для нового поколения СУ различного назначения. Основными из них являются: существенное повышение точности, сокращение времени подготовки, снижение массы, габаритов и потребления электроэнергии, повышение надёжности функционирования с минимизацией степени резервирования аппаратуры, обеспечение надёжности СУ в условиях применения современных и перспективных средств активного противодействия (электромагнитного и радиационного). При этом должна быть обеспечена возможность продления жизни СУ, находящихся в эксплуатации за счёт их модернизации с применением современных УВК.

Предложены принципы построения нового поколения УВК. К наиболее важным из них относятся следующие: введение функционально полного набора подсистем управления и коррекции движения объекта с включением в их состав индивидуальных вычислителей; децентрализация и распределение вычислительных процессов между БЦВМ и подсистемами. А также специализация системы команд вычислителей; рациональное перераспределение задач на аппаратурном и программном уровнях; обеспечение гарантированной надёжности в заданных условиях эксплуатации за счёт оптимизации структурного и логического базиса, специальных схемно-конструкторских решений; унификация и серийная пригодность всех «строительных» модулей, а также выбор рационального уровня резервирования. Важнейшим фактором является создание специализированной радиационно-стойкой элементной базы – БИС, изготавливаемых по КМОП/КНС технологии, и реализация на ее основе ядра УВК - центральной БЦВМ и вычислитель подсистем. Одновременно необходимо совершенствование базового программного обеспечения (БПО) в части создания операционных систем (ОС) с целью повышения устойчивости УВК и степени его самоорганизации в условиях активного противодействия, а также катастрофических и параметрических отказах аппаратуры.

Проведена оптимизация структурно-логических решений на уровне системы и её компонентов, оригинальность которых подтверждена большим количеством

полученных авторских свидетельств на изобретения. К основным из них можно отнести следующие: отказоустойчивые вычислительные системы; резервированные вычислительные устройства; системы обработки данных; счётное устройство; устройство управления цифровой вычислительной машиной. А также резервированное оперативное запоминающее устройство; устройство управления периодом тактовых синхроимпульсов цифровой вычислительной системы; устройства для передачи, сопряжения и обмена данными; управляемый стабилизатор постоянного напряжения; устройства для вывода информации, сопряжения блоков обработки данных, формирования импульсов и др.

Использование данных изобретений при создании самоорганизующихся УВК обеспечило увеличение их интегрального показателя качества более чем на порядок.

Проведены исследования повышения эффективности вычислителей за счёт более глубокой их ориентации на класс решаемых задач – введения в систему команд операторов проблемно-ориентированного языка высокого уровня, имеющих аппаратную и микропрограммную поддержку. К ним относятся тригонометрические и алгебраические вычисления, преобразования систем координат.

Оценка эффективности введения в систему команд вычислителей новых операторов, учитывающих специфику математического аппарата, проводилась сравнением параметров трех вариантов программ, реализующих задачи управления движением.

Два варианта из трех представляли собой программы, составленные для вычислителя с традиционной системой команд. При этом первый вариант программ был направлен на повышение унификации программных блоков, широкого использования библиотеки стандартных подпрограмм и структурирования данных. Этот подход при наличии избыточности временных ресурсов позволяет достигать минимальной длины программы. Второй вариант, направленный на минимизацию затрат времени, более трудоемок, но часто бывает единственно возможным для решения задач в условиях недостатка времени. При этом вместо последовательности обычных команд использовались типовые подпрограммы. Указанные два варианта программ позволяют получить граничную оценку затрат вычислителя.

Третий вариант программы был составлен для вычислителя, в систему команд которого были введены новые операторы, реализующие типовые алгоритмы задач управления движением. Количество инициируемых команд в этом варианте сократилось более чем в два раза, время выполнения программ – на 35 %. Важнейшим фактором при этом является уменьшение относительной сложности и, следовательно, трудоемкости разработки программ.

Существующие методы проектирования и применения вычислителей УВК при расчете быстродействия по наилучшему сочетанию параметров приводят к избыточной производительности. Использование их для решения дополнительного объема функциональных задач или для повышения надежности требует вероятностного принципа установки задач на решение.

В работе проведено исследование и определено увеличение быстродействия логической цепи, содержащей n элементов, имеющих максимальное и минимальное время переключения.

При расчете периода следования по «наихудшему случаю» период тактовой частоты $\Delta t \geq n \times t_{max}$. С введением режима подбора частоты по фактическому бы-

сродействию рабочий период $\Delta t'$ будет всегда меньше, чем при расчете по «наихудшему случаю» ($\Delta t < \Delta t'$). Вероятность, что интервал $\Delta t'$ не превысит какого-то значения T :

$$P(0 < \Delta t' < T) = \frac{1}{\sigma(n)\sqrt{2\pi}} \int_0^T e^{-\frac{(x-n\tau_0)^2}{2\sigma^2(n)}} dx.$$

Используя функцию Лапласа $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$, имеем:

$$P(0 < \Delta t' < T) = \Phi\left(\frac{T - n\tau_0}{\sigma(n)}\right) + \Phi\left(\frac{n\tau_0}{\sigma(n)}\right).$$

Оценка вероятности P возможного повышения быстродействия W по сравнению с номинальным, рассчитанным по «наихудшему случаю» с периодом тактовой частоты T_i , приведена в таблице.

Таблица

| $W = \Delta t / \Delta t'$ | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,5 |
|----------------------------|----------|---------|--------|--------|
| $P(\Delta t < T_i)$ | 0,999999 | 0,99997 | 0,9887 | 0,9207 |

Анализ показывает, что 99 вычислителей из 100 будут иметь производительность не менее 130 % относительно первоначальной. Более того, производительность 92 из 100 будет превышена в 1,5 раза. Такое увеличение производительности обычными методами при сохранении элементного базиса достаточно сложная задача, требующая существенной переработки структуры и роста аппаратурных затрат.

Проведено исследование эффективности перехода к переменному быстродействию на основе системы со средствами контроля и восстановления. Для изменения скорости обработки в неё введены устройства формирования тактирующих синхроимпульсов с перестраиваемыми параметрами. В результате значительно повышается эффективность работы вычислителей в контуре управления.

Блок-схема алгоритма изменения быстродействия приведена на рисунке 1.

Управление формированием синхроимпульсов может производиться как программами ОС, так и устройством формирования кода управления частотой синхроимпульсов. При этом в качестве критерия перестройки частоты выбирается минимальное значение разности текущей и предельной допустимой для данной системы частот сбоев. Доказано, что при таком подходе производительность УВК можно увеличить в 1,5 раза.

В третьей главе описаны предложенные базовые принципы обеспечения надежности самоорганизующихся УВК при работе в экстремальных условиях в реальном времени, результаты исследования различных вариантов резервирования вычислительных структур, автоматического перераспределения задач при отказах, обеспечения работоспособности УВК при воздействии радиационных и электромагнитных излучений большой интенсивности.

Определена значимость принимаемых решений при создании высоконадежных УВК на различных уровнях проектирования и производства. К основным из них относятся простота технических решений; минимизация аппаратурных затрат для реализации заданных функций; учет требований серийного производства;

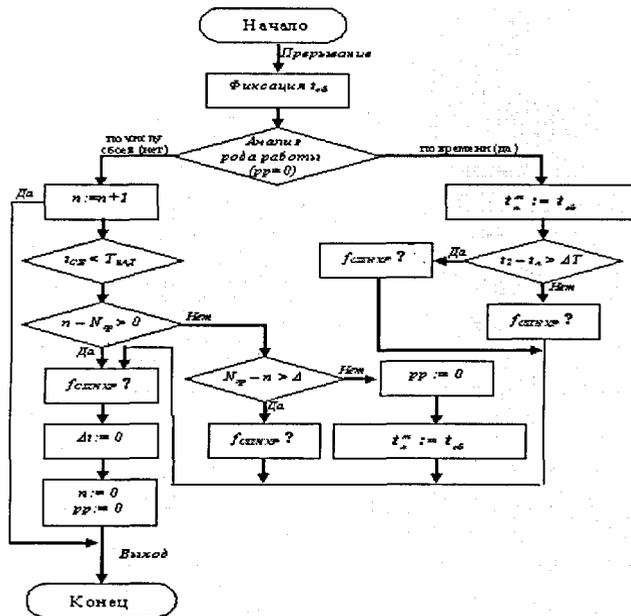


Рисунок 1 Алгоритм изменения быстродействия

минимизация номенклатуры МЭК; создание конструкторской документации, обеспечивающей максимальную автоматизацию изготовления и контроля; унификация конструкторско-технологических решений; наличие необходимых запасов по температуре, напряжению питания, нагрузочным и временным характеристикам, устойчивости к внешним воздействиям; обеспечение культуры производства.

Сформулированы основные принципы повышения надёжности нового поколения УВК для работы в экстремальных условиях в реальном времени: создание набора функционально и конструктивно законченных модулей, обеспечивающих максимальную автономность их отработки и модернизации; магистральная организация и унификация межмодульных связей; иерархическая организация комплекса с центральным модулем управления, реализующим задачи ОС. При этом обеспечивается простота наращивания вычислительной мощности или степени резервирования включением необходимого количества функциональных модулей без переработки аппаратуры, а также учет в процессе работы фактического состояния исправности и быстродействия модулей, включая параметрические изменения, путем динамического перераспределения вычислительных ресурсов.

Объединение всех функциональных модулей через общую унифицированную магистраль допускает их доработку и модернизацию с целью повышения надёж-

ности или совершенствования функциональных характеристик без переработки УВК в целом.

Для оценки надежности на этапе проектирования предложен метод моделирования, использующий комбинирование аналитического расчета и статистического моделирования. Суть метода заключается в том, что система рассматривается как единое целое в рабочем диапазоне времени T . Аналитически вычисляется вероятность возникновения отказа в любом из ее блоков $q = 1 - e^{-LC T}$, где LC – суммарная интенсивность отказов системы в целом.

Статистически на основе выборки случайного числа, равномерно распределенного на интервале $[0, 1]$, вычисляется экспоненциально распределенный момент отказа t_0 по известной формуле:

$$t_0 = -\frac{\ln(nq + (1-q))}{LC},$$

где n – равномерно распределенное случайное число в интервале от 0 до 1.

Далее производится выборка случайных чисел из интервала от 0 до 1, исходя из относительных интенсивностей отказов блоков, нормированных к «1», и определяются место отказа (т.е. блок), вид отказа (сбой – неисправность), обнаружен ли отказ средствами контроля и т.д.

В соответствии с предложенным алгоритмом работы формируется реакция системы и выбор нового ее состояния. После этого вычисляется оставшийся интервал работы $T = T - t_0$, и процесс повторяется. В результате нескольких итераций система обязательно переводится в нерабочее состояние.

Общая вероятность отказа в рассматриваемом интервале T определяется как произведение отдельных событий:

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i.$$

Необходимая точность достигается проведением соответствующего количества испытаний.

Проведено исследование различных вариантов резервирования вычислителей. Для этих целей на основе комбинирования аналитических и имитационных методов разработаны алгоритмы и программы моделирования. С их применением исследована эффективность вариантов введения избыточности. Рассмотрены возможные варианты резервирования магистральных интерфейсов, проведено сравнение их надежности и определены области предпочтительного использования с учетом неопределенности знаний о реальном соотношении сбоев и неисправностей в общем потоке отказов, а также характеристик системы контроля.

В качестве обобщенного критерия сравнения вариантов по надежности использовано отношение вероятностей отказа в заданном интервале времени. Это обусловлено тем, что вероятность безотказной работы $P(T)$ или однозначно связанная с ней вероятность отказа $Q(T) = 1 - P(T)$ в заданном интервале времени T является основной характеристикой надежности УВК, задаваемой в техническом задании. Переход к относительным оценкам через отношение вероятностей отказов Q_i/Q_j исключает ошибки, связанные с недостоверностью знаний об абсолютных значениях интенсивностей отказов, продолжительности интервала времени работы, и позволяет выбрать область предпочтения вариантов при изменении остальных параметров.

Проведено исследование надежности и сравнение различных вариантов резервирования для сложных систем с развитым контролем, самовосстановлением, работающими в условиях последовательного накопления отказов.

Получены оценки надежности при дублированным и троированным интерфейсе. Рассмотрено влияние количества параллельных шин в интерфейсе на изменение вероятности отказа для троированного варианта резервирования при изменении доли сбоев в общем потоке отказов и относительном изменении вероятности отказа системы с различным количеством параллельных шин и различными значениями доли отказов, приводящих к групповому искажению данных.

В работе рассмотрено решение проблемы адаптации УВК к отказам и вычислительным перегрузкам, которая обеспечивается ОС перераспределением вычислительных ресурсов. Для ее решения в качестве критерия оптимальности предложена целевая функция технической эффективности, представляющая вероятность выполнения задания СУ и включающая характеристики как решаемых задач, так и надежности аппаратуры. При аддитивном вкладе дополнительных задач (по мере их добавления) в общую вероятность выполнения задания системой функция технической эффективности $E(\bar{X})$ будет иметь вид:

$$E(\bar{X}) = E_0(x_0) \left(1 + \sum_{i=0}^K \xi_i R_i(x_i) \right),$$

- где $\bar{X} = (x_0, x_1, \dots, x_K)$ - вектор распределения машин по задачам;
 $E_0(x_0)$ - вероятность выполнения задания при решении основных задач;
 x_0 - количество машин, решающих основные задачи;
 x_i - количество машин, решающих i -ю задачу;
 ξ_i - вклад i -ой задачи в общую вероятность выполнения задания, т.е. весомость задачи;
 $R_i(x_i)$ - вероятность безотказной работы группы вычислительных машин;
 K - количество дополнительных задач.

Оптимальным будет распределение X^* , для которого

$$E(\bar{X}^*) = \max_{\substack{K \\ \sum_{i=0}^K x_i \leq N}} \{E(\bar{X})\}.$$

Здесь N - количество вычислителей, которые могут быть установлены без нарушения ограничений на массу и габариты аппаратуры.

Для решения данной задачи разработан модифицированный метод динамического программирования, исключающего получение локальных максимумов.

При поиске оптимума методом динамического программирования требуется получить рекуррентное соотношение. С этой целью задача оптимизации представляется в виде:

$$\max_{\substack{K \\ \sum_{i=0}^K x_i \leq N}} \{E(x_1, \dots, x_K)\} = \max_{\substack{K \\ \sum_{i=0}^K x_i \leq N}} \left\{ \sum_{i=1}^K \xi_i R_i(x_i) \right\}.$$

Для рассматриваемого случая

$$\begin{aligned} \max_{\substack{K \\ \sum_{i=0}^K x_i \leq N}} \{ \sum_{i=1}^K \xi_i R_i(x_i) \} &= \max_{x_K=0,1,2,\dots \leq N} = \{ \max_{\substack{K \\ \sum_{i=0}^K x_i \leq N-x_K}} E(x_i) \} = \\ &= \max_{x_K=0,1,2,\dots \leq N} \{ \xi_K R_K(x_K) + \max_{\substack{K \\ \sum_{i=0}^K x_i \leq N-x_K}} \sum_{i=0}^K \xi_i R_i(x_i) \} \end{aligned}$$

Введем функцию: $f_1(N) = \max_{x_K=0,1,2,\dots \leq N} \{ \sum_{i=1}^1 \xi_i R_i(x_i) \}$, тогда соотношение, приве-

дённое выше, можно переписать в виде:

$$f_K(N) = \max_{x_K=0,1,2,\dots \leq N} \{ \xi_K R_K(x_K) + f_{K-1}(N-x_K) \}.$$

Полученная формула является рекуррентной и позволяет найти оптимальное распределение вычислительных ресурсов методом динамического программирования.

Все задачи можно упорядочить в соответствии с их весомостями:

$$\xi_1 \geq \xi_2 \geq \xi_3 \geq \dots \geq \xi_K$$

так как величины ξ_i являются независимыми, то любые две задачи можно заметить эквивалентной. В связи с этим для распределения ресурсов предложена модификация метода, которая позволяет последовательно, по шагам, снижать размерность. Объединяя две любые задачи на первом шаге, можно сократить число задач от K до $(K-1)$, на втором – до $(K-2)$ и т.д. При упорядоченных весомостях $\xi_i \geq \xi_{i+1}$ объединение целесообразно начинать с младших номеров.

Алгоритм поиска оптимального распределения следующий:

1 Для первой и второй задач строится матрица эквивалентных эффективностей $E_1(x_1, x_2) = \xi_1 R_1(x_1) + \xi_2 R_2(x_2) = \xi^* R^*(x_1 + x_2)$. Элементы матрицы $E_1(x_1, x_2)$ являются композицией весомостей этих задач и вероятностей безотказной работы групп вычислительных модулей, обеспечивающих их решение по всем возможным значениям x_1 и x_2 при $x_1 + x_2 \leq N$. Получаем матрицу значений $E_1(x_1 + x_2)$. Введем обозначение: $K_1 = x_1 + x_2$.

2 В полученной матрице выбирается доминирующая последовательность из всех возможных значений $E_1(K_1)$ и формируется вектор $E_1^*(K_1)$ для $K_1 = 1, 2, \dots, N$.

3 Строится матрица значений для второй эквивалентной задачи ξ_2^* , которая образуется композицией третьей задачи ξ_3 и первой эквивалентной задачи ξ_1^* . Элементами матрицы будут значения $\xi_2^* R(K_2)$, где $K_2 = K_1 + x_3$.

4 В полученной матрице выбирается доминирующая последовательность для $K_2 = 1, 2, \dots, N$.

5 Процесс продолжается до включения последней задачи или до момента, когда включение новой задачи практически не дает приращения технической эффективности.

Решена задача оптимального распределения ресурсов УВК методом динамического программирования. В отличие от известных способов решения данной задачи, получаемые решения не требуют дополнительных проверок на глобальность максимума и в то же время позволяют получить все промежуточные распределения меньшего количества вычислителей, необходимые для перераспределения ресурсов в процессе работы из-за возникающих отказов в комплексе.

Полученные в процессе моделирования при создании УВК оптимальные распределения вводятся в память БЦВМ в виде таблиц, с которыми в основном режиме работает ОС.

Предложен дифференцированный подход к обеспечению радиационной стойкости подсистем трех уровней, который упрощает на начальном этапе проектирования решение задачи выбора необходимого состава микросхем, позволяет повысить надежность, снизить энергопотребление, габариты и массу бортовой аппаратуры, уменьшить ее стоимость и при этом обеспечить высокую производительность вычислительных средств подсистем.

В четвертой главе рассмотрены вопросы выбора архитектуры самоорганизующихся УВК для работы в экстремальных условиях в реальном времени, индивидуальных подсистем управления и коррекции движения летательных аппаратов: инерциальной (ПИН), спутниковой (ПСК), оптической или геофизической (ПОК) и коммутационно-преобразовательной (КПП).

Обоснована архитектура УВК новых СУ, реализованного как базовое ядро для модернизации остальных комплексов (рисунок 2).

При его создании предложены новые решения, обеспечившие функциональную полноту и существенное превосходство над комплексами предыдущего поколения.

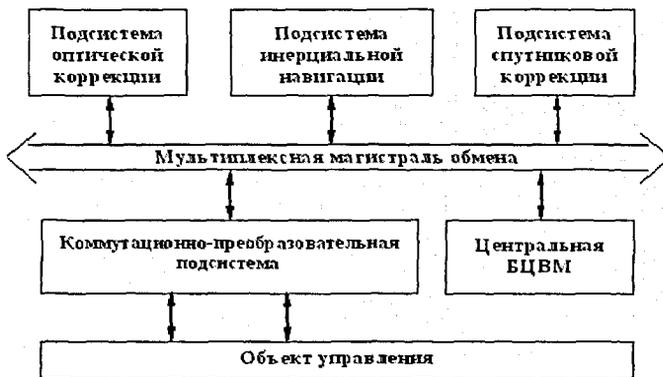


Рисунок 2. Структурная схема базового УВК

Центральная БЦВМ с учетом возможностей современной отечественной элементной базы реализована как многомашинная вычислительная система (рисунки 3, 4). В качестве базового модуля используется 32-разрядный многопроцессорный вычислитель с локальной памятью и каналами связи с внутрисистемной магистралью. В состав БЦВМ входят: вычислительные модули с локальными запоминающими устройствами; системные запоминающие устройства; дублированные каналы мультиплексного обмена, у которых обмен с внешними подсистемами ведет всегда один канал, а второй находится в резерве и подключается только после отказа первого. Все модули включают устройства связи с общесистемной магистралью, которые работают автономно и обеспечивают пря-

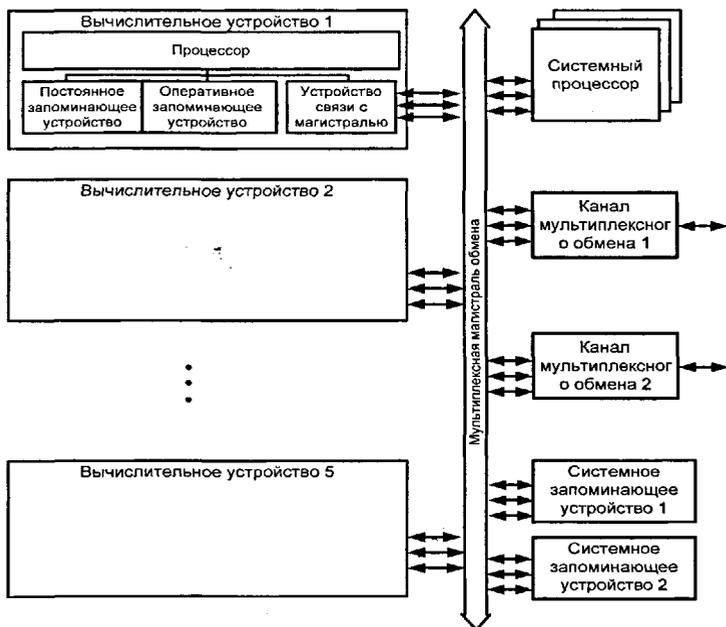


Рисунок 3. Структура БЦВМ

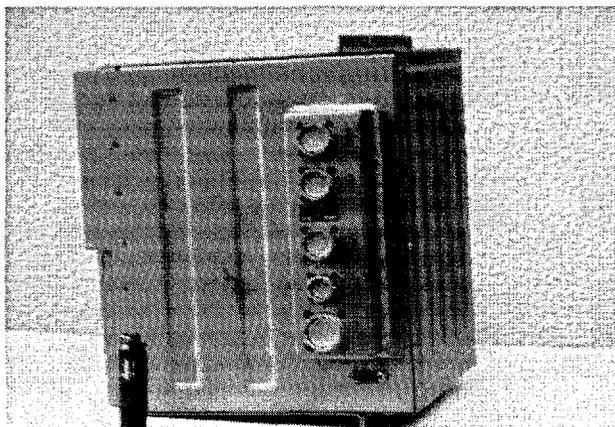


Рисунок 4. Внешний вид БЦВМ базового УВК

мой доступ в их память со стороны магистрали. В такой системе достаточно просто осуществляется резервирование путем подключения необходимого количества одноименных модулей. Внутрисистемная магистраль обеспечивает подключение до 16 модулей любого типа.

Реализация каналов обмена мультимплексного последовательного интерфейса с учетом необходимости одновременной работы нескольких магистралей является одной из принципиальных задач, решаемых при создании конкретной СУ.

Модули связи подключаются к резервированной внутрисистемной магистрали. Они включают свой процессор с памятью программ и данных.

Работа всех модулей БЦВМ осуществляется под управлением системного процессора, выполняющего программы операционной системы. Этот процессор только распределяет задачи и потоки информации между остальными модулями. Для обеспечения надежности его аппаратные затраты минимизированы, он работает в 16-разрядной шкале с относительно невысоким быстродействием, кроме того, он троирован, и в него введены внутренние узлы мажоритарии, позволяющие сохранить его работоспособность при множественных отказах.

Важным отличием самоорганизующихся УВК является реализация БЦВМ на основе специально разработанного комплекта БИС по технологии КМОП/КНС с повышенной радиационно-стойкостью и расширенным диапазоном напряжений питания, что позволяет исключить наиболее слабое звено в части стойкости к ионизирующему излучению – вторичные источники питания.

В результате выполнения комплекса работ по созданию БЦВМ, алгоритмического и программного обеспечения, разработки и запуска в производство специализированных радиационно-стойких СБИС реализован набор базовых модулей, позволяющих конфигурировать УВК в зависимости от требований конкретной СУ.

Предложена архитектура функционально-ориентированного вычислителя (ФОВ) для реализации алгоритмов КЭН на основе многопроцессорного ядра, ориентированного на обработку сигналов, обеспечивающего эффективное выполнение различных корреляционных процедур. При уменьшении цикла реализации основной процедуры КЭН, связанной с необходимостью повышения частоты съема информации с датчика, рассмотрена возможность создания специального ФОВ. При его проектировании в качестве прототипа использована параллельная архитектура. Рассмотрены варианты реализации предпроцессора с параллельной обработкой на уровнях функциональных блоков и потоков данных. Обоснован выбор рациональной архитектуры для его реализации на уровне параллельного потока данных.

Рассмотрены основные вычислительные процедуры алгоритмов обработки изображений ПOK в реальном времени. Предложена архитектура ФОВ данной подсистемы, состоящего из двух специализированных процессорных блоков – предпроцессора для внутрикадровой обработки и постпроцессора, обеспечивающего межкадровую обработку изображений.

Выбрана архитектура вычислителей подсистемы спутниковой коррекции на двух спецпроцессорах – для первичной (в основном цифровой) обработки сигналов) и вторичной обработки навигационной информации.

Анализ вариантов реализации алгоритмов ПИН для варианта платформенной инерциальной системы (БИНС) показал, что при необходимости первичная обработка информации с блока чувствительных элементов (БЧЭ) может прово-

даться блоком первичной обработки, который можно реализовать в двух вариантах. Первый вариант предполагает разработку двух специализированных БИС — одна для обработки данных с датчиков угловых скоростей, вторая для обработки данных с акселерометров. Второй вариант может быть реализован на базе однокристального процессора цифровой обработки сигналов (ПЦОС), работающего с частотой 40МГц и соответствующим быстродействием внешней памяти. Время цикла решения задачи обработки данных БИНС и максимальная суммарная погрешность в виде эквивалентного ухода определяют требуемую производительность ПЦОС. Функционально-ориентированный вычислитель БИНС должен обеспечивать частоту опроса БЧЭ около 1 КГц. Его производительность должна быть около 3 млн оп/сек.

Коммутационно-преобразовательная подсистема занимает значительную часть СУ. Использование в ее составе встроенных специализированных вычислителей позволяет сделать такую аппаратуру функционально законченной. Это свойство не только разгружает БЦВМ от ряда «мелких» задач, но также, что не менее важно, упрощает процесс контроля и нейтрализации отказов. Исключаются значительные аппаратные затраты на организацию связей с БЦВМ.

Вычислитель КПП реализован на основе 16-разрядного микропроцессора с трёхканальным резервированием, так как практически вся входная информация, поступающая от преобразователей «аналог-цифра», имеет разрядность не более 12 бит. Выходная информация, поступающая на преобразователи «цифра-аналог» и формирователи релейных команд, также с запасом укладывается в 16-разрядную шкалу.

Для модернизации СУ изделий, находящихся в эксплуатации, на основе базовой модели разработаны модификации УВК, которые отличаются внешними интерфейсами, обеспечивающими встраивание УВК в системы предыдущего поколения.

Пятая глава содержит описание разработанных средств программной поддержки самоорганизации УВК, работающих в экстремальных условиях в реальном времени. Рассмотрены особенности построения средств обеспечения надёжности при воздействии внешней среды, а также особенности реализации подсистемы КЭН, базирующейся на рациональном распределении задач между аппаратным и программным уровнями. Приведена структура технологического комплекса проектирования и отладки программных средств УВК.

Определены технические требования и направления реализации основного элемента управления УВК операционной системы реального времени (ОС РВ), которая должна обеспечивать поддержку введения, удаления и планирования множества задач, каждая из которых обеспечивает некоторую часть общих функций. Приоритетная диспетчеризация в ОС РВ определяет очерёдность задач и их планирование к выполнению или удалению с учётом фактического состава исправных модулей и реального быстродействия каждого из модулей.

Для управления задачами предложены аппаратно-программные средства приоритетной диспетчеризации, включая часы реального времени и системные средства для обработки событий, связанных со временем. А также средства блокировки оперативной памяти, в которой фиксируются процессы критичные ко времени реакции, что ускоряет запуск этих процессов при организации восста-

новления работы УВК после окончания неблагоприятных внешних воздействий, нарушающих функционирование аппаратуры.

На основании обоснованных требований разработана ОС РВ как двухуровневая система. Верхний уровень реализован на выделенном вычислителе, который осуществляет управление обменом информации между внутренними и внешними абонентами системы, контроль и синхронизацию работы УВК в целом, т.е. на него возложено выполнение функций центрального диспетчера. Нижний уровень обеспечивает необходимую вычислительную мощность решения всех задач.

Специфические особенности решения всех задач следующие: обеспечение реального масштаба времени и допустимого запаздывания между приемом информации с датчиков и выработкой по этой информации управляющих сигналов; изменение состава решаемых задач практически в любой заданный момент времени.

На верхнем уровне ОС решает также задачи, связанные с диагностикой функционирования оборудования и поддержкой работоспособности всей системы в условиях сбоев и отказов отдельных его компонентов или сбоев системы в целом. Основой для построения программы-диспетчера нижнего уровня являются алгоритмы и требования по организации вычислительного процесса. Подключение отдельных функциональных задач (с помощью диспетчера нижнего уровня) необходимо для выполнения жестких требований к минимизации запаздывания между приемом информации с датчиков и выработкой управляющих сигналов.

Управляющие программы ОС нижнего уровня обеспечивают динамическое подключение (или отключение) основной части функциональных задач (блоков) по характерным моментам времени, вырабатываемым функциональными задачами в процессе их решения. Основная задача ОС нижнего уровня состоит в построении в начале каждого цикла очереди задач, которые должны решаться в данном периоде, и подключении этих задач в соответствии с построенной очередью. Кроме того, ОС нижнего уровня реализует контроль и диагностику решаемых задач.

Выходной информацией для построения очереди являются рассчитанные в процессе проектирования УВК таблицы «директив» ОС и характерные моменты времени, по которым производится перестройка состава задач, решаемых в данном периоде, с учетом фактического состояния аппаратуры. Наступление этих моментов, как правило, заранее неизвестно, так как они вырабатываются в процессе решения функциональных задач.

Основой для построения таблиц «директив» являются алгоритмы функциональных задач и временные диаграммы их решения. На временной диаграмме задачи располагаются в соответствии с частотами решения снизу вверх. В начале располагаются задачи минимального периода, затем следующего и т.д. Вверху диаграммы располагаются разовые задачи.

К основным управляющим программам ОС нижнего уровня относятся: «Планировщик»; «Монитор»; организатор периодов низкой частоты («Частота»); формировщик номера циклограммы («Этап»). В состав ОС входят также установочные, диагностические и другие системные программы.

Разработан алгоритм оптимального распределения задач по вычислителям в УВК. Процесс функционирования разбит на интервалы с определенным набором задач, заданным векторами алгоритмических эффективностей, и вероятности их решения.

Система проектируется таким образом, что ресурс вычислительной машины должен быть достаточен для решения не менее, чем одной задачи из заданного множества L . Задача оптимизации сводится в этом случае к отысканию для каждого интервала распределения X^* , обеспечивающего максимизацию функции технической эффективности при заданных ограничениях на количество машин x_i .

Вектор X^* соответствия вычислителей задачам определяется пошаговым распределением путем назначения на каждом шаге очередной машины таким образом, чтобы приращение $\Delta E_k(X)$ было максимальным:

$$\Delta E_k(X) = \max_{j=1,2,\dots,l} \{E_T(\xi, x_j^k) - E(\xi, x^k)\}.$$

После распределения последней машины получим вектор X_n , обеспечивающий $\max\{E_T\}$. В работе доказано, что для нахождения глобального максимума в ряде случаев необходимо проводить распределение машин не на всем наборе задач, а на их произвольном числе $l < n$, в связи с чем полученное решение должно проверяться на оптимальность.

Для исключения проверки на оптимальность разработан модифицированный алгоритм пошагового распределения на основе метода расширяющихся областей:

1 Исходный набор задач упорядочивается таким образом, чтобы выполнялось соотношение $\xi_1 \geq \xi_2 \geq \dots \geq \xi_n$, и поиск оптимального распределения начинается всегда из начала координат.

2 Выбирается первая по порядку задача, для которой рассчитывается эффективность комплекса $E^0 = \xi_1 R_1(x_1)$ и формируется вектор распределений для нулевого шага: $X^0 = \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0\}$. На этом шаге все значения $x_i^0 = 0$, кроме $x_1^0 = 1$.

3 Распределяется следующая машина, для чего:
– вычисляются

$$E_1^1 = \sum_{i=1}^n \xi_i R_i(X_{1j}, x_i^0 + 1),$$

$$E_2^1 = \sum_{i=1}^n \xi_i R_i(X_{2j}, x_i^0 + 1),$$

...

$$E_n^1 = \sum_{i=1}^n \xi_i R_i(X_{nj}, x_i^0 + 1),$$

где X_{ij} – вектор X_j , из которого на j -ом шаге исключена компонента x_j^i ;

– находится $\Delta E_k^1 = \max\{E_i^1 - E^0\}$;

– формируется новый вектор распределения $X^1 = \{x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1\}$, в котором все значения $x_j^1 = x_j^0$, за исключением $x_k^1 = x_k^0 + 1$, где k – номер задачи, для которой установка распределяемой машины дает максимальное приращение эффективности комплекса;

– проверяется число распределяемых машин.

4 Для продолжения распределения необходимо выполнение условия $j - l < N$, где j – номер шага. Распределение каждой следующей машины происходит аналогично распределению второй.

После очередного j -го шага оказывается распределенной $(j + 1)$ машина и имеется вектор $X^1 = \{x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1\}$, оптимизирующий значение $E(x)$. Работа алгоритма заканчивается при выполнении условия $j - 1 = N$.

В работе показано, что из-за неучета времени решения задач не исключена полностью возможность пропуска глобального максимума. Для устранения возможной ошибки необходима проверка полученного распределения, которая в самом общем случае сводится к повторению распределений с другим набором задач. С целью исключения повторных поисков разработан алгоритм обратного перераспределения, обеспечивающий переход к новому распределению из полученного конечного, что существенно сокращает время поиска.

Алгоритм решения обратной задачи реализуется следующим образом:

1 Определяется величина эквивалентной эффективности кратковременных задач:

$$\xi^* = \sum_{i=1}^S \xi_i,$$

где ξ_i – алгоритмическая эффективность короткой задачи;

S – количество коротких задач, которое может быть решено в рассматриваемом интервале.

2 С использованием вектора конечного распределения, полученного при решении прямой задачи $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, находится k значений ΔE_j :

$$\Delta E_j = E(X) - E(X_j),$$

где $E(X)$ – величина эффективности, полученная для распределения X ;

$E(X_j)$ – величина эффективности, получаемая для распределения X_j , в котором все компоненты равны компонентам распределения X , за исключением x_j , величина которой на единицу меньше, т.е. $x_j = x_j - 1$.

3 Определяется ΔE^* :

$$\Delta E^* = E(X^*) - E(X),$$

где $E(X^*)$ – величина эффективности для распределения X^* , которое получается из X_j назначением одной машины на задачу ξ^* .

4 Сравниваются ΔE_j с ΔE^* : если $\Delta E_j - \Delta E^* \leq 0$, то происходит переход к новому распределению X^* , и цикл повторяется для нового распределения, которое считается исходным. При невыполнении этого условия имеющееся на начало цикла распределение является оптимальным, и решение задачи будет окончено.

Разработаны алгоритмы реконфигурации, восстановления и динамического перераспределения машин в процессе работы при возникновении отказов, которые резко сокращают потребляемые ресурсы БЦВМ. Достоинством их реализации является полная независимость от функциональных программ. Они могут также успешно использоваться с программами предстартовой подготовки и проверки изделия.

Разработан алгоритм самовосстановления работы УВК при отсутствии правильно работающих машин, основанный на способности оперативной памяти с защищенным накопителем сохранять информацию при блокировке обращения к ней со стороны процессора, временно теряющего работоспособность. Блокировка обращения к защищенному ОЗУ производится до восстановления работоспособности УВК. Сигнал блокировки снимается по команде процессора после выполнения им короткой тестовой программы, на которую он периодически выводится через систему прерывания по совпадению метки времени с сигналом блокировки.

При проведении этой тестовой программы работают только процессор и его постоянное ЗУ. После установления факта работоспособности выдается команда на снятие блокировки ОЗУ, и процессор проводит поиск адреса точки программы, с которой необходимо начать программу. В первую очередь находятся зоны исходной (для этого участка) информации и проверяется их сохранность путем контрольного суммирования и сравнения с эталоном.

Поскольку блокировка ОЗУ как в случае воздействия ионизирующего излучения, так и по сигналам средств аппаратного контроля может происходить в моменты обращения к ОЗУ, то возможно искажение информации в одном адресе. В связи с этим на основную программу наложены жесткие ограничения, которых нет при восстановлении с помощью резервных машин. Программа разбита на отдельные кванты, для каждого из которых готовятся две зоны исходной информации во время выполнения предыдущих квантов. Адрес каждого кванта фиксируется в четырех адресах ОЗУ и меняется при переходе от одного кванта к другому. Такое резервирование обеспечивает правильный выбор адреса, определяющего квант даже в том случае, если отказ произошел в момент смены адресов при переходе от одного кванта к другому.

Кроме того, в этой главе рассмотрены особенности алгоритмов и предложены средства их решения в виде индивидуальных вычислителей подсистем КЭН и ПОК на основе параллельного решения задач. Они базируются на рациональном распределении задач между программным и аппаратным уровнями и обеспечивают возможность автоматической перестройки структуры для повышения надежности.

Предложен двухэтапный алгоритм КЭН, позволяющий получить высокую точность в условиях ограниченного времени обработки. На первом этапе используются предварительные вычисления с крупным шагом, обеспечивающие выбор зоны коррекции, а на втором этапе – более точный поисковый алгоритм с меньшим шагом. Проведена модификация алгоритма под распараллеливание вычислений по типу «общий поток команд – разные данные». Двухэтапная реализация введена с целью уменьшения длительности первого этапа коррекции, чтобы как можно раньше перейти к отработке ошибок подсистемы инерциальной навигации.

В этой же главе описаны разработанные методы анализа и средства комплексного проектирования, отладки и испытаний аппаратного и программного обеспечений, позволяющие проводить их параллельную разработку, отработку и контроль для сокращения сроков создания УВК и СУ в целом.

В шестой главе рассмотрены результаты развития научной и промышленной базы автоматизации проектирования и производства БИС, УВК и СУ, пример создания РТК. Приведены особенности реализации и параметры самоорганизующихся УВК и семейства СУ нового поколения на их основе.

Решение проблемы создания современных самоорганизующихся УВК и автоматических СУ на их основе требует применения самых высоких наукоемких технологий. На момент ее постановки уже имелось существенное отставание отечественных технологий от зарубежных. Оно усугублялось переходом страны на рыночные отношения. Практически в переходный период речь шла о сохранении и развитии отечественных «очагов» науки и техники, наиболее важных для страны. Поэтому развитие научной и промышленной инфраструктуры разработ-

ки, производства и испытаний специализированной элементной базы, вычислительных модулей и УВК являлось ключевой проблемой успешного создания нового поколения СУ для ракетно-космических комплексов.

Развитие данной инфраструктуры осуществлялось параллельно по направлению разработки и производства современной специализированной элементной базы и создания на ее основе унифицированных вычислительных модулей и УВК. Определены функциональные требования к специализированным БИС и УВК, а также направления развития инфраструктуры автоматизации их проектирования.

В процессе реализации данной задачи определен состав средств комплексной автоматизации проектирования и производства СБИС, вычислительных модулей и УВК с обеспечением требуемых технико-экономических показателей.

Разработано автоматизированное измерительное оборудование по проверке аппаратуры, проведению имитационных и стендовых испытаний; разработаны, отлажены и переданы в эксплуатацию пакеты оригинальных контролирующих программ.

Сформулированные требования положены в основу создания уникальной научной и промышленной инфраструктуры на базовых предприятиях, включающей дизайн-центры, линии по испытанию БИС, микросборок, вычислительных модулей и УВК.

Созданная научная и промышленная база использована для разработки нескольких наборов специализированных микропроцессоров, более 20-ти типов заказных и полужаказных СБИС, микросборок, вычислительных модулей и УВК нового поколения, обладающих высокой стойкостью к радиационному и электромагнитному воздействию.

Разработанное семейство состоит из нескольких УВК для автоматических СУ изделий ракетно-космической техники, которые по основным параметрам (точности и надежности) обеспечивают выполнение целевых задач в условиях применения современных и перспективных средств активного противодействия.

Они реализованы на основе разработанных унифицированных вычислительных модулей и интерфейсов, которые созданы на базе специально разработанной элементной базы – микропроцессорных наборов БИС КМОП/КНС, что обеспечило требуемые тактико-технические показатели СУ.

Базовым является УВК для создания СУ нового поколения, который вобрал в себя весь комплекс предложенных оригинальных научных и технических решений. Он включает полный набор унифицированных модулей и устройств: БЦВМ и индивидуальные вычислительные подсистемы (инерциальную, оптическую, спутниковую и коммутационно-преобразовательную), которые объединяются с помощью стандартизированных интерфейсов.

На основе «строительных» модулей базового комплекса была проведена модификация СУ комплексов, находящихся в эксплуатации, с целью возможности их успешного применения в современных условиях. В её состав введены новые унифицированные модули: БЦВМ и подсистема спутниковой навигации. При этом сохранены ПИН, ПОК и КПП, а также часть корабельной автоматизированной СУ. Выполнена переработка базового программного обеспечения БЦВМ с учетом новых возможностей.

Разработанные модули использованы в СУ ракетных комплексов вывода на орбиту космических аппаратов.

Применение самоорганизующихся УВК обеспечило значительное преимущество СУ нового поколения по важнейшим параметрам: точности, надежности, энергопотреблению, массе и габаритам по сравнению с СУ предыдущего поколения. Таким образом, обеспечено соответствие параметров СУ заданным требованиям в современных условиях их применения.

Возникновение аварийных ситуаций, приводящих к химическому, радиоактивному или любому другому загрязнению территории, исключающему работу на ней человека, требует наличия технических средств, позволяющих оператору находиться на безопасном расстоянии. Дистанционное управление необходимо при тушении пожаров, ликвидации последствий землетрясений, при демонтаже различных сооружений, хранилищ и т.д.

В рамках данной работы на основе созданного базового УВК разработана управляющая вычислительная система для РТК 800 промышленного трактора Т-25.01. В СУ этого РТК установлены вычислительные средства, обеспечивающие прием, обработку команд оператора и сигналов датчиков с формированием управляющих воздействий на привод силовых механизмов. Особенностью этого комплекса являются крайне жесткие условия эксплуатации. Он предназначен для проведения работ в районах с высоким уровнем радиоактивного загрязнения в широком географическом пространстве от крайнего севера до тропических зон.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1 Проведён анализ состояния и определены направления развития самоорганизующихся УВК для работы в экстремальных условиях в реальном времени, исследованы принципы их функционирования и требования, предъявляемые к ним для решения целевых задач автоматических систем управления.

2 Проанализированы возможности отечественной ЭП по созданию универсальных и специализированных БИС, определены предъявляемые к ним требования для обеспечения заданных показателей стойкости и надежности при работе в экстремальных условиях в составе УВК.

3 Обоснованы архитектурные и структурно-логические решения реализации самоорганизующихся УВК на основе использования современной элементной базы, отличающиеся улучшением эксплуатационных показателей при работе в экстремальных условиях в реальном времени.

4 На основе предложенных решений по оптимальному дифференцированию радиационной стойкости ядра, подсистем и периферии обоснованы архитектура и методика комплексирования самоорганизующихся УВК, обеспечивших высокую производительность, унификацию технических и программных средств.

5 Предложены архитектура и методы структурно-логической реализации специализированных автономных вычислителей всех подсистем управления и коррекции, заложивших основу их построения, как законченных унифицированных измерительно-вычислительных модулей, отличающихся высокой эффективностью работы в экстремальных условиях. Они могут использоваться для создания новых и модернизации существующих СУ. Обеспечена простота их развития, минимизация сроков выполнения работ и материальных затрат.

6 Обоснована архитектура центральной цифровой вычислительной системы и аппаратуры взаимодействия подсистем, которые отличаются обеспечением заданной надежности при эксплуатации в экстремальных условиях в реальном времени на основе оптимального перераспределения информационных потоков и

вычислительной нагрузки между модулями. Обеспечено выполнение целевой задачи СУ за счет возможности уменьшения объемов вычислительной нагрузки при достижении пиковых значений внешних воздействий и (или) деградации параметров компонентов УВК.

7 Предложена реализация аппаратно-программных средств подсистем на основе рационального распределения задач между программным и аппаратурным уровнями. Подсистемы отличаются высокой производительностью и обеспечивают возможность автоматической перестройки структуры и изменение состава информационных потоков для сохранения работоспособности УВК при накоплении катастрофических и параметрических отказов.

8 Найдены оригинальные структурно-логические решения, обеспечившие оптимизацию основных характеристик СБИС, УВК и СУ на их основе, отличающиеся автоматическим восстановлением работоспособности УВК при различного вида отказах аппаратуры, а также при воздействии радиационных и электромагнитных излучений большой интенсивности. Оригинальность всех основных предложенных решений подтверждена полученными авторскими свидетельствами на изобретения.

9 Разработаны и внедрены методы и средства комплексного проектирования, отладки, производства и испытаний аппаратуры и программного обеспечения, отличающиеся возможностью параллельной разработки со значительным сокращением сроков.

10 Определены требования, на основе которых существенно развита научная и промышленная база автоматизации проектирования и производства универсальных и специализированных БИС, вычислительных модулей и УВК нового поколения, которая является важным вкладом в решение проблемы создания современных отечественных наукоемких технологий.

11 Основным практическим результатом работы является создание принципиально нового поколения самоорганизующихся УВК, работающих в экстремальных условиях в реальном времени, и семейства СУ на их основе. Ими оснащаются вводимые и модернизируемые изделия морского базирования и комплексы вывода на орбиту космических аппаратов. Созданные УВК обладают современными характеристиками по функциональности, надёжности, производительности, при уменьшении энергопотребления, габаритов и массы. Существенный рост производительности, дифференцированной по подсистемам, позволил увеличить точность наведения СУ, сократить время предстартовой подготовки, обеспечить работоспособность в условиях применения средств активного противодействия.

На примере создания РТК для проведения работ в зоне радиоактивного загрязнения продемонстрирована возможность и эффективность применения УВК в СУ гражданского назначения.

Результаты диссертационной работы внедрены на базовых предприятиях и в учебный процесс ВУЗов РФ (акты внедрения приведены в приложении к диссертации).

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

- 1 Антимиров, В.М. Бортовые подсистемы инерциального управления и спутниковой навигации с автономными вычислителями [Текст] / В.М. Антимиров, В.Н. Ачкасов // *Авиакосмическое приборостроение.*– 2005. – № 6. – С. 20 – 22.
- 2 Антимиров, В.М. Создание промышленной инфраструктуры разработки, производства и испытания вычислительных комплексов для систем управления двойного назначения [Текст] / В.Н. Антимиров, П.Р. Машевич, В.Н. Ачкасов // *Авиакосмическое приборостроение.*– 2005. – № 8. – С. 9 – 11.
- 3 Антимиров, В.М. Особенности реализации подсистемы обработки геофизических полей и оптической навигации, как автономных вычислительных модулей [Текст] / В.М. Антимиров, В.Н. Ачкасов // *Полет.*– 2005. – № 6. – С. 55 – 59.
- 4 Антимиров, В.М. Современные вычислительные комплексы для бортовых систем управления [Текст] / В.М. Антимиров, В.Н. Ачкасов, П.Р. Машевич // *Полет.*– 2005. – № 7. – С. 45 – 49.
- 5 Антимиров, В.М. Исследование вариантов резервирования магистральных связей в вычислительной системе / В.М. Антимиров // *Полет.*– 2005. – № 8. – С. 23 – 27.
- 6 Антимиров, В.М. Об ускорении процесса статистического моделирования отказов элементов вычислительных систем [Текст] / В.М. Антимиров // *Системы управления и информационные технологии.*– 2005. – № 5 (22). – С. 43 – 51.
- 7 Антимиров, В.М. Вопросы построения адаптивных бортовых управляющих вычислительных комплексов [Текст] / В.М. Антимиров, В.Н. Ачкасов // *Системы управления и информационные технологии.*– 2005. – № 5 (21). – С. 15 – 19.
- 8 Антимиров В.М. Расчет надежности различных вариантов вычислительных комплексов СУ для реальных условий космических летательных аппаратов [Текст] / В.М. Антимиров // *Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру.*– 2005.- Вып. 1 – 2. – С. 119 – 123.
- 9 Антимиров, В.М. Создание промышленной и научной инфраструктуры корпоративной разработки, производства и испытания элементной базы, модулей и вычислительных комплексов для систем управления [Текст] / В.М. Антимиров, В.Н. Ачкасов, П.Р. Машевич, Ю.К. Фортинский // *Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру.*– 2005.- Вып. 3 – 4.– С. 3 – 5.
- 10 Антимиров, В.М. Оценка устойчивости БИС к гамма-излучению на этапе разработки базового матричного кристалла [Текст] / В.М. Антимиров // *Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру.*– 2005.- Вып. 3 – 4.– С. 8 – 9.
- 11 Антимиров, В.М. Комплексная автоматизация разработки, производства и испытания вычислительных комплексов для систем управления двойного назначения [Текст] / В.М. Антимиров, Ю.К. Фортинский, В.Н. Ачкасов // *Приводная техника.*– 2005.– № 2 (54). – С. 52 – 55.
- 12 Антимиров, В.М. Развитие управляющих вычислительных комплексов двойного назначения [Текст] / В.М. Антимиров В.Н. Ачкасов, П.Р. Машевич, Ю.К. Фортинский // *Приводная техника.*– 2005. – № 3 (55). – С. 56 – 61.

13 Антимиров, В.М. Основные алгоритмы интеллектуальных подсистем бортовых вычислительных комплексов систем управления [Текст] / В.М. Антимиров, В.Н. Ачкасов // Информационные ресурсы России.– 2005. – № 5 (81). – С. 12 – 16.

14 Машевич, П.Р. Современная методика и средства автоматизации проектирования микросхемных компонентов [Текст] / П.Р. Машевич, В.Н. Ачкасов, В.М. Антимиров, Ю.К. Фортинский // Информационные ресурсы России.– 2005. – № 6 (82). – С. 29 – 36.

15 Антимиров, В.М. Особенности построения радиационно-стойкой автоматической системы управления [Текст] / В.М. Антимиров // Вестник Воронеж. гос. тех. ун-та.– Сер. «САПР и системы автоматизации производства»: сб. науч. трудов / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2005.– № 11.– Вып. 1.– С. 115 –117.

16 Антимиров, В.М. Оценка надёжности вычислительных комплексов для систем управления летательных аппаратов [Текст] / В.М. Антимиров // Вестник Воронеж. гос. тех. ун-та.– Сер. «САПР и системы автоматизации производства»: сб. науч. трудов / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2006.– № 12.– Вып. 2.– С. 29 – 35.

17 Антимиров, В.М. Алгоритм сравнительной оценки надёжности вариантов вычислительных комплексов для систем управления космических летательных аппаратов [Текст] / Антимиров В.М., Ачкасов В.Н. // Вестник Самарского аэрокосмического университета.– Самара, 2006. – № 10 (25). – С. 15 – 21.

18 Антимиров, В.М. Разработка базового алгоритма подсистемы коррекции по геофизическим полям [Текст] / В.М. Антимиров // Вестник Самарского аэрокосмического университета.– Самара, 2006. – № 11 (26). – С. 56 – 61.

19 Антимиров, В.М. Обоснование алгоритма построения рельефометрической корреляционно-экстремальной навигационной системы [Текст] / В.М. Антимиров // Авиакосмическое приборостроение.– 2006. – № 9. – С. 39 – 43.

Монографии

1 Антимиров, В.М. Современные самоорганизующиеся управляющие вычислительные комплексы нового поколения [Текст] / В.М. Антимиров, В.Е. Межов, В.К. Зольников; Воронеж. гос. ун-т.– Воронеж, 2005.– 279 с.

2 Ачкасов, В.Н. Разработка средств автоматизации проектирования специализированных микросхем для нового поколения вычислительных комплексов систем управления двойного назначения [Текст] / В.Н. Ачкасов [и др.];– Воронеж. гос. ун-т.– Воронеж, 2005.– 240 с.

Основные авторские свидетельства

1 АС 798775 СССР, G 06 F 3/00. Устройство формирования импульсов [Текст] / В.М. Антимиров и др.– № 2671637/18-24; заявл. 09.01.78, опубл. 23.01.81, Бюл. № 3.– С. 7.

2 АС 961152 СССР, H 03 K 23/00. Счетное устройство [Текст] / В.М. Антимиров и др.– № 3249017/18-21; заявл. 17.02.81, опубл. 23.09.82, Бюл. № 35.– С. 12.

3 АС 993235 СССР, G 06 F 3/04. Устройство для сопряжения блоков [Текст] / В.М. Антимиров и др.— № 3221229/18-24; заявл. 03.11.80, опубл. 30.01.83, Бюл. № 4.— С. 10.

4 АС 1223218 СССР, G 06 F 1/04. Устройство для формирования импульсов [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 3640613/24-21; заявл. 29.08.83, опубл. 07.04.86, Бюл. № 13.— С. 5.

5 АС 1156083 СССР, G 06 F 13/00. Устройство сопряжения [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 3677352/24-24; заявл. 26.12.83, опубл. 15.05.85, Бюл. 18.— С. 6.

6 АС 183088 СССР, G 06 F 11/00. Бортовой вычислительный комплекс [Текст]/В.М. Антимиров и др.— № 3039102/18-24, заявл. 17.03.82.

7 АС 1115052 СССР, H 03 K 5/00. Цифровой функциональный преобразователь двух переменных [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 3399252/18-21, заявл. 22.02.82, опубл. 25.12.84, Бюл. № 43 — С. 5.

8 АС 1077070 СССР, H 05 K 10/00, G 06 F 15/16. Отказоустойчивая вычислительная система [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 3260579/18-24; заявл. 16.03.81, опубл. 28.02.84, Бюл. № 8. — С. 12.

9 АС 1200292 СССР, G 06 F 11/00, H 05 K 10/00. Резервированное вычислительное устройство [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 3550958/24-24; заявл. 08.02.83, опубл. 23.12.85, Бюл. № 12.— С. 6.

10 АС 1277787 СССР, G 06 F 3/04. Отказоустойчивая вычислительная система [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 2359104/18-04, заявл. 02.07.84, опубл. 05.02.85, Бюл. № 2 — С. 15.

11 АС 1542385 СССР, G 06 F 15/00. Адаптивный генератор [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 2357478/18-09, заявл. 03.05.88, опубл. 08.10.89, Бюл. № 2 — С. 7.

12 АС 1539759 СССР, G 06 F 3/04. Многоканальное устройство синхронизации [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 2751886/18-24, заявл. 15.02.88, опубл. 01.10.89, Бюл. № 39 — С. 10.

13 АС 1487702 СССР, G 06 F 15/00. Система обработки данных [Текст] / Антимиров В.М. и др.— № 2787656/18-24, заявл. 25.06.89, опубл. 15.02.89, Бюл. № 27 — С. 11.

14 АС 1312548 СССР, G 05 F 1/56. Управляемый стабилизатор постоянного напряжения [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 3920367/24-07; заявл. 02.07.85, опубл. 25.05.87, Бюл. № 19.— С. 4.

15 АС 1338031 СССР, H 03 K 5/156, 3.72. Устройство для формирования импульсов [Текст] / Антимиров В.М. и др. — № 4004670/24-21; заявл. 03.01.86, опубл. 15.09.87, Бюл. № 4.— С. 5.

Основные статьи и материалы конференций

1 Антимиров, В.М. Разработка программного обеспечения специализированных вычислителей [Текст] / В.М. Антимиров // Материалы заседания секции автоматизированного проектирования программного обеспечения Научного совета АН СССР по проблемам управления движением и навигации / ЦНИИ.— Харьков, 1984.— С. 125 — 128.

2 Антимиров, В.М. Вопросы построения специализированных вычислителей для задач навигации по картам местности [Текст] / В.М. Антимиров // Материалы

XIV межотраслевой НТК памяти Н.Н. Острякова / ЦНИИ «РУМБ».– Ленинград, 1985.– С. 164 – 165.

3 Антимиров, В.М. Выбор и построение межмодульного интерфейса [Текст] / В.М. Антимиров, М.Ю. Яблонский, П.С. Шабашов // Ракетно-космическая техника.– 1986. – Вып. 4. – С. 28 – 30.

4 Антимиров, В.М. Повышение надежности управляющих вычислительных комплексов [Текст] / В.М. Антимиров // Проблемы управления движением и навигацией: сборник научных трудов АН СССР / АН СССР.– М., 1987.– Вып. 2. – С. 114 – 122.

5 Антимиров, В.М. Организация распределенных ресурсов в управляющем вычислительном комплексе [Текст] / В.М. Антимиров // Проблемы управления движением и навигацией: сборник научных трудов АН СССР / АН СССР.– М., 1987.– Вып. 22.– С. 17 – 24.

6 Антимиров, В.М. Развитие архитектуры высоконадежных управляющих вычислительных систем [Текст] / В.М. Антимиров // Проектирование и изготовление МЭА.– Сер. 10.– Микроэлектронные устройства: сборник научных трудов / ЦНИИ «Электроника». – М., 1988.– Вып. 2 (271).– С. 7.

7 Антимиров, В.М. Создание управляющего вычислительного комплекса [Текст] / В.М. Антимиров, Д.Ю. Клюкин // Проектирование и изготовление МЭА.– Сер. 10.– Микроэлектронные устройства: сборник научных трудов / ЦНИИ «Электроника». – М., 1988.– Вып. 2 (271). – С. 15 – 16.

8 Антимиров, В.М. Тенденции развития управляющих вычислительных систем [Текст] / В.М. Антимиров // Материалы XVI межотраслевой НТК памяти Н.Е. Острякова / ЦНИИ «РУМБ».– Ленинград, 1989. – С. 18 – 21.

9 Антимиров, В.М. Особенности проектирования вычислительных систем на основе унифицированных конструктивов [Текст] / В.М. Антимиров // Ракетно-космическая техника.– 1990. – Вып. 1. – С. 50 – 55.

10 Антимиров, В.М. Особенности построения магистрально-модульных вычислительных систем [Текст] / В.М. Антимиров // Ракетно-космическая техника.– 1990.– Вып. 1.– С. 5 – 11.

11 Антимиров, В.М. Многопроцессорная система управления электроприводом [Текст] / В.М. Антимиров, П.С. Шабашов // «Конверсия»: сборник научных трудов / НПО «Автоматики».– Екатеринбург, 1991.– С. 45 – 49.

12 Антимиров, В.М. Вопросы распределения ресурсов в управляющей вычислительной системе [Текст] / В.М. Антимиров // Материалы XXIII конференции памяти Н.Н. Острякова: сборник научных трудов / ЦНИИ «Электроприбор».– СПб, 2001. – С. 15 – 20.

13 Антимиров, В.М. Вопросы построения управляющей вычислительной системы [Текст] / В.М. Антимиров // Материалы XIII конференции памяти Н.Н. Острякова: сборник научных трудов / ЦНИИ «Электроприбор».– СПб, 2003. – С. 23 – 29.

14 Антимиров, В.М. Особенности испытаний БИС на устойчивость к ионизирующим излучениям [Текст] / В.М. Антимиров, К.А. Дренягин // Ракетно-космическая техника. – 2004. – Вып. 1.– С. 45 – 50.

15 Антимиров, В.М. Вычислительная система управления робототехнических комплексов [Текст] / В.М. Антимиров // Радиационная стойкость электронных систем. «Стойкость - 2005»: материалы научных трудов / МИФИ.– М., 2005.– С. 13 – 14.

16 Антимиров, В.М. Особенности применения радиационно-стойких БИС в автоматических системах управления [Текст] / В.М. Антимиров // Радиационная стойкость электронных систем. «Стойкость - 2005»: материалы научных трудов / МИФИ.– М., 2005.– С. 15 – 16.

17 Антимиров, В.М. Интеллектуализация подсистемы оптической навигации [Текст] / В.М. Антимиров // Информационные технологии «ИТ-2005»: материалы научных трудов / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2005.– С. 199 – 201.

18 Антимиров, В.М. Оптимизация распределения ресурсов в бортовых управляющих системах [Текст] / В.М. Антимиров // «Авиация и космонавтика-2005»: материалы научных трудов 4-ой международной конференции / МАИ.– М., 2005.– С. 11.

19 Антимиров, В.М. Информационная поддержка жизненного цикла современных изделий микроэлектроники двойного назначения [Текст] / В.М. Антимиров // Проблемы регионального управления, экономики, права и инновационных процессов в образовании: материалы научных трудов международной конференции / Таганрог. инст. упр. и экон.– Таганрог, 2005.– С. 29 – 34.

20 Антимиров, В.М. Автоматизация проектирования базового программного обеспечения бортовых вычислительных комплексов систем управления нового поколения. [Текст] / Антимиров В.М., Ачкасов В.Н., Крюков В.П. // Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах: материалы научных трудов всероссийской конференции / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2005.– С. 12 – 13.

21 Ачкасов, В.Н. Подсистема автоматизации проектирования радиационно-стойкой элементной базы и унифицированных модулей вычислительных комплексов бортовых систем управления [Текст] / В.Н. Ачкасов, В.М. Антимиров, П.Р. Машевич, Ю.К. Фортинский // Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах: материалы научных трудов всероссийской конференции / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2005.– С. 45 – 46.

22 Антимиров, В.М. Дизайн центры автоматизации проектирования вычислительных комплексов двойного назначения [Текст] / Антимиров В.М., Ачкасов В.Н., Машевич П.Р., Фортинский Ю.К. // Математические методы в технике и технологии (ММТТ-18): материалы научных трудов международной конференции / Казан. гос. техн. ун-т.– Казань, 2005.– С. 54 – 59.

23 Антимиров, В.М. Разработка вычислительной системы для управляющих робототехнических комплексов [Текст] / В.М. Антимиров // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвузовский сборник научных трудов / Воронеж. гос. лесотехн. акад.– Воронеж, 2005. – Вып. X.– С. 303 – 306.

24 Антимиров, В.М. Новые решения разработки вычислительных систем управления / В.М. Антимиров // Моделирование систем и информационные технологии: межвузовский сборник научных трудов / Научная книга. – Воронеж, 2005.– С. 159 – 161.

25 Антимиров, В.М. Реализация операционной системы для бортовой вычислительной машины [Текст] / Антимиров В.М. // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах проектирования: сборник научных трудов / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2005.– С. 75 – 83.

26 Антимиров, В.М. Увеличение производительности управляющих цифро-

вых вычислительных систем [Текст] / В.М. Антимиров // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах проектирования: сборник научных трудов / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2005.– С. 39 – 44.

27 Антимиров, В.М. Вопросы обеспечения надежности управляющих вычислительных комплексов [Текст] / В.М. Антимиров // Информационные технологии моделирования и управления: сборник научных трудов / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2005.– № 2 (20). – С. 231 – 237.

28 Антимиров, В.М. Исследование вариантов резервирования магистральных связей в вычислительной системе [Текст] / В.М. Антимиров, В.Н. Ачкасов, П.Р. Машевич // Информационные технологии моделирования и управления: сборник научных трудов / Воронеж. гос. техн. ун-т.– Воронеж, 2005.– № 2 (20).– С. 238 – 243.

29 Антимиров, В.М. Повышение производительности элементной базы для бортовых вычислительных машин за счет специализации системы команд [Текст] / В.М. Антимиров // Кибернетика и технологии 21 века: материалы научных трудов международной конференции.– М., 2005.– С. 63 – 69.

30 Антимиров, В.М. Алгоритм подсистемы коррекции движения летательного аппарата по геофизическим полям [Текст] / В.М. Антимиров // Информационные технологии и системы: сборник научных трудов / Воронеж. гос. технол. акад.– Воронеж.– 2006. – Вып. 9.– С. 39 – 45.

31 Антимиров, В.М. Задачи развития технического, математического и программного обеспечения управляющих вычислительных комплексов нового поколения [Текст] / В.М. Антимиров // Информационные технологии и системы: сборник научных трудов / Воронеж. гос. технол. акад.– Воронеж, 2006. – Вып. XX.– С. 61 – 66.

Антимиров Владимир Михайлович

**СОЗДАНИЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ УПРАВЛЯЮЩИХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАБОТЫ
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подп. в печать

Формат 60*841/18. Объем 1 п.л. Заказ №

Тираж 100 РИО ВГЛТА. 394613, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

Отзывы в одном экземпляре, с заверенной подписью, просим направлять по адресу: 119333, г. Москва, ул. Вавилова, 44, кор. 2, в диссертационный совет.

