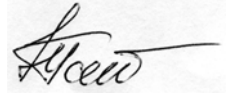


На правах рукописи



Гоев Николай Васильевич

**ПОСТРОЕНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ
НА ОСНОВЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ**

Специальность

05.11.16 – Информационно-измерительные
и управляющие системы (в технических системах)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО
«Рязанский государственный радиотехнический университет»
на кафедре радиоуправления и связи

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Кириллов Сергей Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Нечаев Геннадий Иванович

кандидат технических наук
Светников Олег Григорьевич

Ведущая организация: **ОАО «МКБ «Факел»,
г. Химки Московской области**

Защита состоится «11» июня 2010 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д212.211.04 в ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Автореферат разослан «___» _____ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Борисов А.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Автоматизированные системы контроля (АСК), являющиеся одним из видов информационно-измерительных систем, предназначены для оценки технического состояния контролируемых объектов и принятия соответствующего решения. Современные контролируемые объекты (ОК) – вооружение и военная техника (ВВТ) представляют собой сложные изделия, производство и эксплуатация которых требуют больших затрат и существенным образом зависят от средств контроля, находящихся в эксплуатирующих организациях и на заводах-изготовителях. По оценке отечественных и зарубежных специалистов, трудоемкость контрольных операций при производстве сложного радиоэлектронного оборудования составляет более 30 %. Также и в эксплуатации ВВТ для поддержания его работоспособности и готовности необходим большой объем работ по контролю технического состояния. Применение АСК позволяет значительно снизить стоимость эксплуатации, в несколько раз уменьшить трудоемкость контрольно-измерительных операций при производстве. Поэтому актуальной является задача обеспечения ВВТ современными эффективными средствами контроля. Современное состояние средств контроля, вопросы их проектирования для ВВТ характеризуются применением большого разнообразия частных узкоспециализированных аппаратур, эксплуатационно-ремонтных пультов, привязанных практически к каждому конкретному контролируемому изделию, использованием приборов общего назначения. Создание АСК осуществляется, как правило, в виде законченных специализированных аппаратур «под ключ», их проектирование проводится на основе аппаратных средств. Средства программного обеспечения для реализации процесса контроля строго привязываются к аппаратным средствам, т.е. являются узкоспециализированными. Технология проектирования АСК, как правило, характеризуется направлением «движения» от аппаратных средств к программному обеспечению и получению системы. При построении и проектировании АСК не учитывается, что их функции выполняются как аппаратными, так и программными средствами, т.е. что АСК является аппаратно-программной системой. Отсутствует единообразие методов и средств контроля на всех стадиях жизненного цикла ВВТ, что создает серьезные трудности при их эксплуатации и ремонте. Такой подход приводит к большим затратам на создание АСК, их высокой стоимости и необеспеченности современных требуемых технических характеристик АСК, необеспеченности производства и эксплуатации ВВТ эффективными средствами контроля.

Для решения данной проблемы необходимо реализовать построение и проектирование АСК как аппаратно-программной системы и обеспечить на этой основе повышение уровня ее характеристик, а также сокращение сроков и затрат на проектирование.

В частности, это разработка новых принципов модульности построения АСК и на их основе проектирование базового аппаратного обеспечения (БАО) и синтез АСК как аппаратно-программной системы на основе БАО.

Поэтому решение задач по построению и проектированию БАО и АСК, отвечающих требованиям качественного контроля ВВТ и обеспечивающих их эффективное производство и эксплуатацию, является актуальным.

Вопросам построения и создания АСК посвящено много работ, основные из которых принадлежат Н.Н. Пономареву, Б.К. Карандееву, И.В. Кузьмину, М.П.

Цапенко, В.М. Шлядину, А.Ф. Страхову, П.П. Пархоменко, Е.Ю. Барзиловичу, И.Я. Каверкину, Э.И. Цветкову, Г.Ф. Верзакову, М. Краусу и др.

В работах перечисленных авторов рассматриваются вопросы теории автоматического контроля, эффективности АСК, общие вопросы построения и организации АСК, характеристики АСК, вопросы построения составных частей АСК, методы контроля параметров ВВТ.

Исследование вопросов проектирования АСК содержится в работах Г.М. Гнедова, И.С. Фрумкина, П.И. Кузнецова, И.С. Гусинского, Г.П. Шибанова, И.В. Чулкова, С.М. Латинского, В.Д. Иванова и др.

Эти публикации решают отдельные вопросы построения, формализации этапов проектирования и синтеза структуры АСК, оценки эффективности, построения программного обеспечения АСК и др. Однако они не отражают принципы построения современной АСК как аппаратно-программной системы. При проектировании АСК этапы разработки аппаратных и программных средств разделяются – сначала определяются состав и структура аппаратных средств, их проектирование независимо от программного обеспечения, а затем осуществляется разработка программных средств. Вопросы взаимосвязи аппаратных и программных средств, их оптимального соотношения при реализации функций контроля не учитываются. Методы синтеза, обеспечивающие комплексный подход к проектированию АСК на основе взаимосвязи этапов разработки методов контроля, структуры АСК и программного обеспечения, не созданы.

Таким образом, проблемы построения и проектирования АСК как аппаратно-программной системы для обеспечения контролем ВВТ с минимальными затратами являются актуальными.

Цель и задачи работы. Целью работы являются построение и проектирование АСК как аппаратно-программной системы в интересах обеспечения средствами контроля ВВТ.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- анализ принципов построения и методов проектирования АСК;
- обоснование необходимости построения и проектирования АСК как аппаратно-программной системы;
- разработка принципов модульности АСК как аппаратно-программной системы;
- разработка структуры и номенклатуры показателей модулей АСК;
- разработка структуры и комплексного построения АСК на основе разработанных принципов модульности;
- проектирование и оптимальный синтез БАО на основе разработанных принципов модульности;
- проектирование и оптимальный синтез АСК как аппаратно-программной системы на основе разработанных принципов модульности.

Научная новизна. В работе получены следующие новые научные результаты.

1 Разработаны принципы модульности АСК как аппаратно-программной системы с определением модуля (составной части АСК) как аппаратно-программного средства – аппаратно-программного модуля.

2 Разработаны структура аппаратно-программного модуля, алгоритм его функционирования в системе, классификация модулей по принципу функционального назначения, предложены показатели оценки аппаратно-программного модуля.

3 Предложена функциональная структура АСК как совокупность аппаратно-программных модулей.

4 Разработано комплексное построение АСК на основе аппаратно-программных модулей с учетом взаимосвязи аппаратных и программных средств.

5 Разработана методика проектирования БАО. Сформулирована и решена задача синтеза БАО на основе аппаратно-программных модулей.

6 Разработаны методы измерения ряда параметров контролируемых сигналов.

7 Разработан метод определения исходного множества аппаратно-программных модулей для синтеза АСК.

8 Разработана методика проектирования АСК. Сформулированы и решены задачи синтеза АСК для одного и множества объектов контроля на основе аппаратно-программных модулей.

Практическая ценность работы. Представленные в работе принципы модульности АСК как аппаратно-программной системы с определением модуля как аппаратно-программного средства, принципы полноты и совместимости, разработка методики проектирования БАО, формулировка и решение задачи синтеза БАО позволят с минимальными затратами и требуемыми характеристиками создавать базовое аппаратное обеспечение автоматизированного контроля для заданной предметной области по контролю различных ВВТ.

Разработанные предложения по структуре АСК как совокупности аппаратно-программных модулей, по комплексному построению АСК на основе аппаратно-программных модулей с учетом взаимосвязи аппаратных и программных средств, разработка методики проектирования АСК, формулировка и решение задач синтеза АСК позволят обеспечить проектирование АСК для контроля различных ВВТ с минимальными затратами, сроками и заданными характеристиками.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Принципы модульности АСК с определением модуля (составной части АСК) как аппаратно-программного средства, обеспечивающего модульное проектирование АСК на уровне функций системы и разработку программ контроля по входным данным о стимулирующих и контролируемых сигналах, что сокращает сроки их разработки по сравнению с существующими методами в 3 - 4 раза.

2. Методика проектирования базового аппаратного обеспечения с решением задачи синтеза его состава на основе аппаратно-программных модулей, обеспечивающая создание комплексов БАО с минимальной стоимостью и уровнем функциональной полноты не менее 0,9, что сокращает объем оборудования по сравнению с комплексами БАО, построенными на основе аппаратных модулей, в 1,5 – 2 раза.

3. Методика проектирования АСК с решением задачи синтеза ее состава на основе аппаратно-программных модулей, позволяющая по сравнению с существующими методами обеспечить сокращение затрат на разработку АСК в целом (включая разработку конструкторской, программной документации, системное построение АСК, изготовление образцов) в 2 - 3 раза.

Реализация и внедрение. Предложенные в диссертации решения внедрены на ОАО «РКБ «Глобус» при разработке БАО автоматизированного контроля - комплексов агрегатных средств автоматизированного контроля КАСАК-85, КАСАК-М, а также при разработке АСК различного назначения, поставляемых предприятиями: ОАО «Корпорация „ТРВ”», ОАО «ГНПП „Регион”», ОАО „Дукс”», ОАО «ГосМКБ „Вымпел”», ОАО «СМАЗ», ГУП «КБП», а также организациям и

войсковым частям МО РФ, в страны инозаказчика.

Также предложенные в диссертации решения реализованы в виде научно-технических отчетов при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проводимых в ОАО «РКБ „Глобус”», 13 ГНИИ МО РФ, 32 НИИ МО РФ, 46 НИИ МО РФ, ОАО «ОКБ „СУХОГО”», ОАО «ГосМКБ „Радуга”», ННИПИ «Кварц» и др.

Методы исследований и достоверность результатов. В работе использованы методы структурного синтеза, вычислительной математики, методы нелинейного программирования. Достоверность результатов и выводов диссертации подтверждается результатами работ по созданию нескольких поколений БАО, а также результатами проектирования и внедрения множества типов АСК для контроля различного ВВТ, в том числе в ОАО «РКБ „Глобус”», соответствующими актами внедрения и испытаний.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались: на научно-технических конференциях «Состояние и перспективы развития основных направлений радиотехнологии и спецмашиностроения», Казань, 1989; «Проблемы военно-технической политики в области эксплуатации и ремонта ВВТ», Люберцы, ГНИИ ЭРАТ МО РФ, 2000; на XVI военно-научной конференции «Проблемы теории и практики развития войсковой ПВО в современных условиях», Смоленск, ВА ВПВО ВС РФ, 2008.

Публикации. По теме диссертации опубликована 31 работа: 21 статья, 3 тезисов докладов на конференциях, 7 патентов и авторских свидетельств, кроме того представлены разделы в 20 отчетах о НИР и ОКР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (106 источников), 6 приложений, изложенных общим объемом на 217 стр., в том числе 133 стр. основного текста, содержит 22 рисунка и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Изложены научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ состояния обеспечения автоматизированным контролем производства и эксплуатации ВВТ и принципов построения современных АСК. Показано, что функции современной АСК по реализации алгоритмов контроля параметров, измерения контролируемых сигналов, выдачи стимулирующих сигналов выполняются аппаратными и программными средствами и АСК представляет собой комплекс взаимосвязанных средств аппаратного и программного обеспечения, т.е. АСК является аппаратно-программной системой.

Проведено исследование существующих методов проектирования АСК, проводимого по двум направлениям: разработка аппаратной части; разработка программного обеспечения. Отмечается, что наибольшее распространение получили методы агрегатирования (агрегатно-модульные методы) на основе унифицированных аппаратных модулей, совокупность которых может объединяться в комплексы БАО. Проектирование сложных АСК на основе аппаратных модулей представляет собой сложный и трудоемкий процесс, включающий большой объем работ: разработка методик выдачи стимулирующих и преобразования контролируемых сигналов, выбор состава аппаратных модулей,

разработка контрольно-измерительных каналов и др. При таком подходе разработка программ контроля требует детального знания управления аппаратными модулями и решения задач перехода от сигнального описания ОК к характеристикам аппаратных модулей и, следовательно, больших затрат. Проведен анализ используемых методов оптимизации АСК с целью сокращения затрат на проектирование и снижения стоимости АСК. Однако, учитывая объем отмеченных работ, существенного выигрыша в затратах на проектирование это не дает. Построение и проектирование БАО осуществляются как совокупности аппаратных модулей, при этом не учитываются особенности АСК как аппаратно-программной системы. Отмечается, что в целом существующий процесс проектирования средств контроля – как разработка унифицированных аппаратных модулей, так и создание на их основе конкретных АСК, не отражает принципы построения современной АСК как аппаратно-программной системы и приводит к большим затратам на проектирование и стоимости АСК.

С целью сокращения затрат на создание и стоимости ставятся задачи по построению и проектированию АСК как аппаратно-программной системы – как построения и проектирования базового аппаратного обеспечения, так и проектирования конкретных АСК.

Для этого должны быть разработаны:

- принципы модульности АСК как аппаратно-программной системы;
- функциональная структура и комплексное построение АСК на основе разработанных принципов модульности;
- проектирование и оптимальный синтез БАО на основе разработанных принципов модульности;
- проектирование и оптимальный синтез АСК как аппаратно-программной системы на основе разработанных принципов модульности.

Во второй главе разработаны принципы модульности АСК как аппаратно-программной системы:

- модуль как часть АСК, выполняющий определенную функцию, является аппаратно-программным средством, содержащим как аппаратные, так и программные средства;
- аппаратно-программный модуль реализует функцию АСК на уровне системы;
- агрегатирование АСК с применением аппаратно-программных модулей осуществляется на уровне функций системы в целом;
- структура АСК представляется как совокупность аппаратно-программных модулей. Структурной единицей АСК является аппаратно-программный модуль;
- показатели оценки характеризуют аппаратно-программный модуль в целом как составную часть АСК с учетом аппаратных и программных функций;
- аппаратно-программные модули в системе взаимодействуют с программой контроля, операционной системой контроля, ОК;
- разработка программ контроля осуществляется на основе программной части аппаратно-программного модуля по входным данным о стимулирующих и контролируемых сигналах ОК.

Модульное проектирование АСК на основе приведенных принципов модульности обладает существенными преимуществами по сравнению с модульным проектированием АСК на основе аппаратных модулей, основными из которых являются сокращение затрат на проектирование и стоимости АСК.

На основе аппаратно-программных модулей, реализующих функции АСК в

целом, предложена структура АСК как совокупность аппаратно-программных модулей (АПМ). При этом функциональные возможности АСК описываются на уровне АПМ (рисунок 1). Структурной единицей АСК является АПМ.

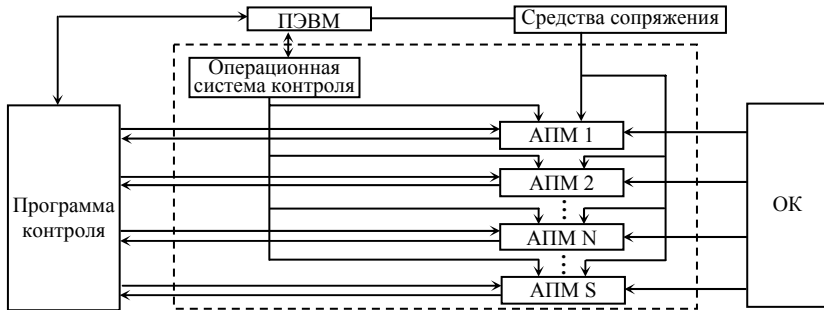


Рисунок 1 – Функциональная структура АСК на уровне АПМ

Представление структуры АСК в виде совокупности АПМ позволяет существенно упростить процесс проектирования АСК. При наличии унифицированных АПМ задача сводится к определению их состава. В результате работы, проводимые при проектировании АСК на базе аппаратных модулей и связанные с разработкой методик контроля, структуры контрольно-измерительных каналов, состава аппаратных средств, структурно-методических вариантов контроля, не проводятся, что дает существенный выигрыш в затратах на проектирование АСК.

В соответствии с определением обобщенная структура АПМ, его интерфейсы взаимодействия с другими частями АСК представлены на рисунке 2. В процессе выполнения функций контроля АПМ взаимодействуют по входным и выходным сигналам с ОК, по входным и выходным данным управления – с программой контроля, по управлению процессом выполнения функций – с операционной системой контроля.

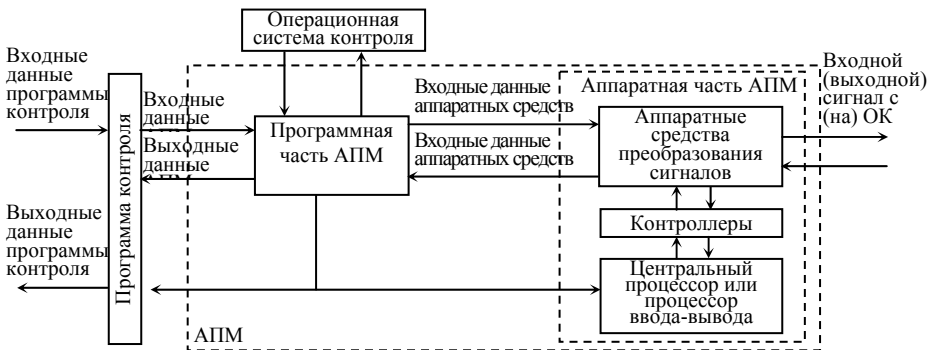


Рисунок 2 – Обобщенная структура АПМ

Программная часть АПМ обеспечивает преобразование входных данных из программы контроля в коды управления аппаратными средствами, чтение кодов с аппаратных средств, их обработку, вычисление результата и передачу его в качестве выходных данных в программу контроля. Предложены показатели оценки АПМ как комплексного аппаратно-программного средства – технические характеристики, уровень описания входных данных, уровень управления. При этом АПМ характеризуется не как независимое самостоятельное устройство, а как составная часть АСК, в которой он используется. Характеристики АПМ должны оказывать влияние на основные показатели АСК в целом. Технические характеристики оценивают АПМ как аппаратно-программное средство. В работе определены принципы выбора входных данных в разных сечениях (см. рисунок 2).

На основе разработанных принципов модульности, принципов построения АПМ, представления АСК как совокупности АПМ предложено комплексное построение АСК, включающее унифицированные описания сигналов и задач контроля, использование унифицированных описаний сигналов и задач в языке программирования задач контроля, задание требований по контролю с использованием унифицированных описаний сигналов и задач, на их основе установление входных данных исходной программы контроля, программ АПМ, аппаратных средств АПМ и разработка программ АПМ, исходных программ контроля. Предложенные положения комплексного построения АСК на основе АПМ обеспечивают проведение всего процесса проектирования на основе сигнального описания требований по контролю ОК.

Структура комплексного построения АСК на основе АПМ приведена на рисунке 3.

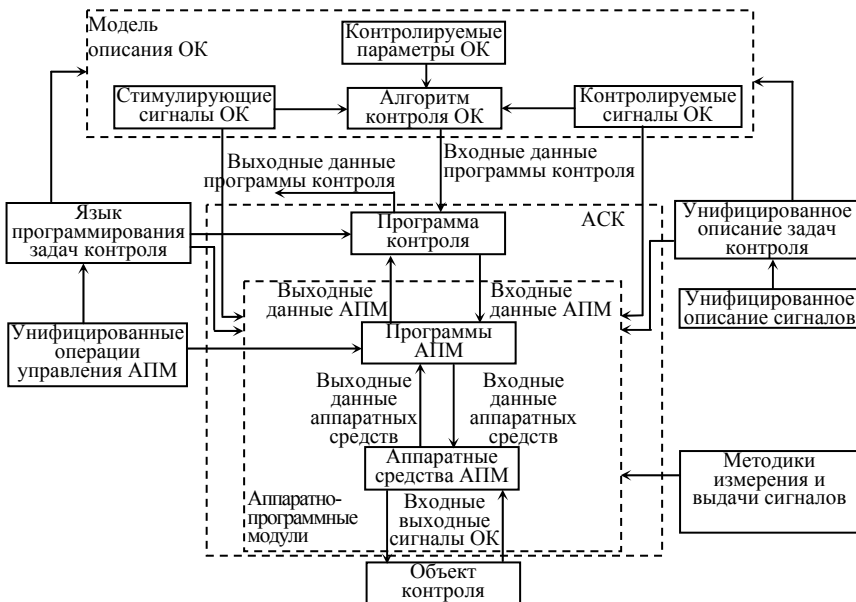


Рисунок 3 – Структура построения и функционирования АСК

Разработанные принципы модульности, комплексного построения реализованы в разработках БАО ОАО «РКБ „Глобус”». БАО нескольких поколений построено из совокупности аппаратно-программных модулей по разработанным положениям.

Построение АСК на основе аппаратно-программных модулей обеспечивает организацию всего процесса проектирования АСК – от создания БАО до непосредственной разработки конкретных АСК по знанию характеристик стимулирующих и контролируемых сигналов ОК, как единое целое, взаимосвязанное проведение всех этапов проектирования с однозначным переходом одних этапов в другие. Это позволяет существенно повысить эффективность процесса проектирования АСК, сократить его сроки и на этой основе улучшить характеристики АСК и снизить затраты на создание за счет исключения промежуточных этапов при проектировании, связанных со знанием характеристик составных частей АСК, с поиском решений по взаимосвязи и компоновке средств АСК в систему, за счет одновременного ведения работ по разным этапам. Особенно это касается разработки программ контроля.

Третья глава посвящена решению задач проектирования БАО на основе разработанных положений. БАО в соответствии с изложенным подходом включает совокупность унифицированных АПМ, обеспечивающих модульное проектирование АСК в заданной предметной области.

В главе на основе комплексного построения АСК как единой аппаратно-программной системы предлагается методика разработки БАО – сформулированы перечень задач и методики последовательного решения этих задач. Методика разработки БАО предложена исходя из представления АСК совокупностью АПМ с учетом обеспечения функциональной полноты БАО, применения унификации описания сигналов, унификации описания задач контроля, разработки исходного множества АПМ и синтеза оптимального состава АПМ.

Разработаны методы измерения ряда параметров контролируемых сигналов. В частности, измерение параметров ВЧ и СВЧ непрерывных и радиоимпульсных сигналов, измерение параметров на основе цифровой обработки сигналов, измерение параметров непрерывного контроля и др. По результатам работ получены авторские свидетельства и патенты.

Представление АСК совокупностью модулей АПМ обуславливает необходимость разработки соответствующих методов синтеза БАО, позволяющих устранить недостатки существующих методов, отмеченные в главе 1. В главе формулируется перечень задач по оптимальному синтезу БАО. Предложена математическая формулировка задачи синтеза БАО широкого назначения, заключающаяся в определении набора АПМ, которые обеспечивают решение всех заданных задач при минимальных суммарных затратах на разработку и производство БАО и удовлетворяют условию полноты комплекса.

Постановка задачи синтеза БАО выполнена следующим образом.

1 Пусть задано множество задач (функций) $A\{A_i\}$, $i = \overline{1, I}$, которые должны выполняться БАО. Под задачей понимается выполнение определенной функции – измерение характеристики сигнала, выдача стимулирующего сигнала и т.п. Заданное множество задач должно удовлетворять требованию функциональной полноты БАО.

2 Для каждой задачи A_i , задано множество (совокупность) требований $t_{ij} \in T_i$. Требования $t_{ij} \in T_i$ задаются в терминах унифицированных описаний сигналов. Перечень требований в совокупности T_i для задачи A_i $R_i \{R_m\}$, $m = \overline{1, M_i}$.

3 Известна функция потребности θ в БАО, которая может быть задана как общее число комплектов средств БАО, необходимых за весь период использования. Известна функция потребности φ_i в каждой задаче на весь период использования БАО, которая может быть выражена как доля общей потребности θ в БАО. Известна функция потребности в каждой совокупности требований φ_n для каждой задачи $\varphi_i(T_i)$ на весь период использования БАО, которая может быть выражена как доля потребности в задаче φ_i .

4 Определено множество АПМ, пригодных для задач A_i , $i = \overline{1, I}$, $B_i \{B_{ij}\}$, $j = \overline{1, J_i}$. Каждый АПМ B_{ij} реализуется совокупностью программ и аппаратных средств. Будем считать, что каждому АПМ соответствует одна программа. Одно аппаратное средство может реализовать одно или несколько АПМ.

5 Определено исходное множество аппаратных средств $Y\{Y_l\}$, $l = \overline{1, L}$ для множества АПМ B_{ij} , $j = \overline{1, J_i}$.

6 Известна функция затрат АПМ $\psi(\xi_{ij})$, которая определяется стоимостью разработки программы S_m и стоимостью разработки и производства входящих аппаратных средств.

Стоимость аппаратного средства определяется выражением:

$$C_l(Z_l) = \begin{cases} a_l + b_l Z_l, & \text{если } Z_l > 0, \\ 0, & \text{если } Z_l = 0, \end{cases}$$

где a_l – стоимость разработки устройства Y_l , не зависящая от объема производства,

b_l – стоимость изготовления устройства Y_l ,

Z_l – объем производства устройства Y_l .

7 Необходимо определить такой набор АПМ из множества B_{ij} , $j = \overline{1, J_i}$ и аппаратных средств их реализации, который обеспечивает решение всех задач A_i для каждой совокупности требований t_{ij} при минимальных суммарных затратах на разработку и производство БАО и удовлетворяет условию полноты комплекса.

8 Связи между различными множествами описываются матрицами соответствия.

$$\beta_{im} = \begin{cases} 1, & \text{если программный модуль } V_m \text{ используется в АПМ } B_{ij}, \\ 0, & \text{если программный модуль } V_m \text{ не используется в АПМ } B_{ij}, \end{cases}$$

$$\alpha_{il} = \begin{cases} 1, & \text{если устройство } Y_l \text{ используется в АПМ } B_{ij}, \\ 0, & \text{если устройство } Y_l \text{ не используется в АПМ } B_{ij}, \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если для задачи } A_i \text{ используется АПМ } B_{ij}, \\ 0, & \text{если для задачи } A_i \text{ не используется АПМ } B_{ij}. \end{cases}$$

9 Математическая формулировка задачи синтеза БАО представляется следующим образом:

$$\min_{x_{ij}} C_{\Sigma} = \sum_{l=1}^L a_l \operatorname{sgn} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \alpha_{ijl} x_{ij} + \sum_{l=1}^L b_l \theta \varphi_n \varphi_i \operatorname{sgn} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \alpha_{ijl} x_{ij} + \sum_{m=1}^M S_m \operatorname{sgn} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \beta_{ijm} x_{ij},$$

где $\operatorname{sgn}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u > 0, \\ 0, & \text{если } u \leq 0, \end{cases}$

при ограничении $\sum_{j=1}^{J_i} x_{ij} = 1 \quad i = \overline{1, I}. \quad (1)$

Ограничение (1) означает, что для решения задачи A_i выбирается ровно один вариант B_{ij} . В работе приведен алгоритм решения задачи синтеза БАО.

Реализация предложенной методики проектирования БАО, решение сформулированной задачи синтеза БАО позволяют создавать оптимальные комплексы БАО, состоящие из совокупности базовых АПМ. Внедрение этой методики осуществлялось при разработке БАО на ОАО «РКБ «Глобус» – нескольких поколений комплексов агрегатных средств автоматизированного контроля – КАСАК-85, КАСАК-М. Для каждого комплекса создан эффективный параметрический ряд, включающий более 150 АПМ. Объем оборудования этих комплексов, построенных на основе модулей АПМ, примерно в 1,5 – 2 раза соответственно меньше объема оборудования комплекса, построенного на основе аппаратных средств. Отмеченное уменьшение объема оборудования достигнуто, в основном, за счет применения новых принципов модульности и расширения объема реализуемых функций программными средствами. Объем заимствования средств БАО в конкретных АСК составляет более 90 %, т.е. уровень функциональной полноты не менее 0,9.

Четвертая глава посвящена решению задач проектирования АСК на основе АПМ. Методика проектирования АСК как совокупности АПМ предполагает формирование исходного множества АПМ, исходя из требований по характеристикам стимулирующих и контролируемых сигналов, синтез оптимального состава АПМ для обеспечения требуемых задач контроля, на основе которого определяется полный состав аппаратных средств АСК, программных модулей выполнения функций АСК. По составу аппаратных средств проводится разработка физического построения АСК. По составу программных модулей проводится разработка программ контроля ОК. Предложенная методика разработки АСК существенно отличается от существующих методик, значительно сокращая объем работ для проектирования АСК как на разработку конструкторской и программной документации, так и на решение системных вопросов построения АСК. В главе предложен алгоритм разработки исходного множества АПМ для решения задачи синтеза АСК. Предложены математические формулировки задач синтеза АСК для множества ОК, для одного ОК, заключающиеся в определении состава АПМ для обеспечения всех задач контроля для всех заданных ОК при

минимальных затратах решения всех задач контроля и выполнения требований по достоверности контроля, времени контроля, объему памяти.

Постановка задачи синтеза АСК для множества ОК на основе АПМ представляется следующим образом.

1 Пусть задана совокупность задач контроля $A\{A_n\}$, $n = \overline{1, N}$. Для каждой задачи контроля заданы: перечень контролируемых параметров $X_n\{X_i\}$, $i = \overline{1, I_n}$, перечень стимулирующих и контролируемых сигналов $R_n\{R_m\}$, $m = \overline{1, M_n}$, где m от 1 до h - стимулирующие сигналы и от $(h+1)$ до M_n - контролируемые сигналы. Под сигналом понимается стимулирующий или контролируемый сигнал на определенном контакте ОК; укрупненные алгоритмы контроля параметров $W_n\{W_i\}$. Известно требуемое число АСК для каждой задачи φ_n . Для контролируемых параметров известны законы распределения вероятностей значений параметров $f(x_i)$ и допустимые пределы их изменения. Известны описания стимулирующих и контролируемых сигналов для всех задач контроля и описание общего исходного множества АПМ B_0 , на основании которых определено исходное множество АПМ по типам сигналов и ОК (для каждого сигнала каждого ОК) $B\{B_u\}$, $u = \overline{1, U}$.

2 Совокупность аппаратных средств (устройств) всего исходного множества АПМ $B\{B_u\}$ образует исходное множество устройств $Q\{Q_k\}$, $k = \overline{1, K}$.

Каждый АПМ характеризуется:

временем исполнения t_u ;

погрешностью (выдачи или преобразования сигнала) δ_u ;

множеством используемых устройств $Q_u\{Q_k\}$, $k \in K_u$, где K_u - множество индексов устройств, используемых АПМ B_u ;

объемом памяти для хранения программы АПМ P_u ;

стоимостью разработки программы АПМ C_{up} ;

стоимостью настройки БПО на АПМ C_{un} .

Для каждого устройства Q_k задана стоимость $C_k(\varphi_k)$ как функция от объема производства φ_k :

$$C_k(\varphi_k) = \begin{cases} a_k + b_k \varphi_k, & \text{если } \varphi_k > 0, \\ 0, & \text{если } \varphi_k = 0, \end{cases}$$

где a_k - стоимость разработки устройства Q_k , не зависящая от объема его производства; b_k - стоимость изготовления устройства.

3 Необходимо определить набор АПМ, который обеспечивает выполнение заданных требований по достоверности контроля D_{nz} , времени контроля t_{nz} , объему памяти P_{nz} для каждой задачи контроля A_n при минимальной стоимости C решения всех задач контроля.

Связи между различными множествами описываются матрицами соответствия:

$$x_{mu} = \begin{cases} 1, & \text{если для выдачи стимулирующего или преобразования} \\ & \text{контролируемого сигнала } R_m \text{ используется АПМ } B_u, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases},$$

$$\eta_{uk} = \begin{cases} 1, & \text{если для АПМ } B_u \text{ требуется устройство } Q_k, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases},$$

$$\gamma_{im} = \begin{cases} 1, & \text{если сигнал } R_m \text{ используется при контроле параметра } X_i, \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}.$$

Кроме того, вводятся коэффициенты:

ε_{mi} – коэффициент влияния погрешности формирования или измерения сигнала R_m на погрешность контроля параметра X_i ;

χ_{mi} – коэффициент влияния времени преобразования или выдачи сигнала R_m на время контроля параметра X_i .

4 Математическая формулировка задачи синтеза АСК для множества ОК представляется следующим образом:

$$\min_{x_{mu}} C = \sum_{k=1}^K \left\{ a_k \operatorname{sgn} \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} \sum_{u=1}^U x_{mu} \eta_{uk} \right) \right\} + b_k \sum_{n=1}^N \left[\varphi_n \operatorname{sgn} \left(\sum_{m=1}^{M_n} \sum_{u=1}^U x_{mu} \eta_{uk} \right) \right] \right\} + \sum_{u=1}^U C_{up} \operatorname{sgn} \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} x_{mu} \right) + \sum_{u=1}^U C_{ui} \operatorname{sgn} \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M_n} x_{mu} \right),$$

при следующих ограничениях:

вероятности ложного отказа $P_{ло}$ и необнаруженного отказа $P_{но}$ при контроле каждого ОК должны быть меньше заданных значений:

$$P_{ло}^n(x_{mu}) = \prod_{i=1}^{I_n} \left[f_1 \left(\sqrt{\sum_{m=1}^{M_n} \varepsilon_{mi}^2 \sum_{u=1}^U x_{mu} \sigma_u^2} \right) - f_3 \left(\sqrt{\sum_{m=1}^{M_n} \varepsilon_{mi}^2 \sum_{u=1}^U x_{mu} \sigma_u^2} \right) \right] \leq P_{ло\ nз}^n, \quad n = \overline{1, N},$$

$$P_{но}^n(x_{mu}) = \prod_{i=1}^{I_n} \left[f_2 \left(\sqrt{\sum_{m=1}^{M_n} \varepsilon_{mi}^2 \sum_{u=1}^U x_{mu} \sigma_u^2} \right) - f_3 \left(\sqrt{\sum_{m=1}^{M_n} \varepsilon_{mi}^2 \sum_{u=1}^U x_{mu} \sigma_u^2} \right) \right] \leq P_{но\ nз}^n, \quad n = \overline{1, N},$$

время контроля каждого ОК должно быть меньше заданного

$$t_{nv}(x_{mu}) = \sum_{i=1}^{I_n} \sum_{m=1}^{M_n} \chi_{mi} \sum_{u=1}^U x_{mu} t_u \leq t_{n\ за\ до} - t_{nm} - t_{ny}, \quad n = \overline{1, N},$$

объем памяти для размещения программных средств не должен превышать заданный

$$V_n(x_{mu}) = \sum_{u=1}^U V_u \operatorname{sgn} \left(\sum_{m=1}^{M_n} x_{mu} \right) \leq V_{n\ за\ до} - V_{ny}, \quad n = \overline{1, N},$$

а также для каждого требуемого при контроле сигнала должен быть назначен один АПМ

$$\sum_{u=1}^U x_{mu} \operatorname{sgn} \left(\sum_{i=1}^{I_n} \gamma_{im} \right) = 1 \quad m = \overline{1, M_n} \quad n = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Выражение (2) определяет выбор единственного АПМ для сигнала, и следовательно, единственное решение задачи оптимизации.

Математическая формулировка задачи синтеза структуры АСК для одного ОК представляется следующим образом:

$$\min_{x_{mu}} C = \sum_{k=1}^K \left\{ a_k \operatorname{sgn} \left(\sum_{m=1}^M \sum_{u=1}^U x_{mu} \eta_{uk} \right) + b_k \theta \max_i \left(\sum_{m=1}^M \sum_{u=1}^U x_{mu} \eta_{uk} \gamma_{im} \right) \right\} + \sum_{u=1}^U C_{up} \operatorname{sgn} \left(\sum_{m=1}^M x_{mu} \right) + \sum_{u=1}^U C_{un} \operatorname{sgn} \left(\sum_{m=1}^M x_{mu} \right)$$

при следующих ограничениях:

$$P_{ло}(x_{mu}) = \prod_{i=1}^I \left[f_1 \left(\sqrt{\sum_{m=1}^M \varepsilon_{mi} \sum_{u=1}^U x_{mu} \sigma_u^2} \right) - f_3 \left(\sqrt{\sum_{m=1}^M \varepsilon_{mi} \sum_{u=1}^U x_{mu} \sigma_u^2} \right) \right] \leq P_{ло3},$$

$$P_{но}(x_{mu}) = \prod_{i=1}^I \left[f_2 \left(\sqrt{\sum_{m=1}^M \varepsilon_{mi} \sum_{u=1}^U x_{mu} \sigma_u^2} \right) - f_3 \left(\sqrt{\sum_{m=1}^M \varepsilon_{mi} \sum_{u=1}^U x_{mu} \sigma_u^2} \right) \right] \leq P_{но3},$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \chi_{mi} \sum_{u=1}^U x_{mu} t_u \leq t_3 - t_m - t_y,$$

$$\sum_{u=1}^U V_u \operatorname{sgn} \left(\sum_{m=1}^M x_{mu} \right) \leq V_3 - V_y,$$

$$\sum_{u=1}^U x_{mu} = 1 \quad , \quad m = \overline{1, M} \quad .$$

В работе приведен алгоритм решения задач синтеза АСК.

Внедрение разработанных задач проектирования АСК как аппаратно-программной системы осуществлялось при создании АСК для различного ВВТ на ОАО «РКБ „Глобус”». В соответствии с предложенной методикой проектирования и решением задачи синтеза создано более 50 АСК различного назначения на основе АПМ КАСАК-85 и более 10 АСК на основе АПМ КАСАК-М.

Объем оборудования АСК, построенных на основе АПМ КАСАК-85 и КАСАК-М, примерно в 2 - 3 раза меньше объема оборудования АСК, построенных на основе аппаратных модулей, а сроки разработки РКД сокращаются в 2 - 3 раза. Также и сокращение затрат на разработку АСК в целом (включая разработку конструкторской, программной документации, изготовление образцов, решение системных вопросов, настройку) составляет в 2 - 3 раза. Кроме того, анализ разработанных АСК, выполненных на базе единых средств БАО, показал, что доля общих частей в них составляет более 80 %, т.е. уровень межвидовой унификации превышает 80 %.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1 Выполнен анализ принципов построения АСК и показано, что современная АСК является аппаратно-программной системой, функции которой выполняются как аппаратными, так и программными средствами, и необходима разработка новой технологии построения и проектирования АСК. Для реализации этой технологии в работе разработаны новые принципы модульности АСК – модуль как часть системы, выполняющий определенную функцию, является аппаратно-программным модулем и реализует функции на уровне системы. Определен уровень модульности АСК – модуль должен реализовывать функцию АСК на уровне системы. Предложена структура АСК как совокупность АПМ. При этом функциональные возможности АСК описываются на уровне АПМ, взаимодействующих с ОК по входным и выходным сигналам. Структурной единицей АСК является АПМ. При таком подходе функциональное проектирование АСК заключается в определении состава АПМ для выполнения задач, возлагаемых на АСК.

2 Разработаны принципы построения АПМ. Предложены показатели проектирования АПМ как комплексного аппаратно-программного средства – технические характеристики, уровень входных данных, уровень управления АПМ, и приведены принципы их оценки. Предложена классификация АПМ по функциональному назначению.

3 Предложено комплексное построение АСК на основе АПМ, включающее унифицированное описание сигналов и задач контроля, использование унифицированных описаний сигналов и задач в языке программирования, задание требований по контролю с использованием унифицированных описаний сигналов и задач, на их основе установление входных данных исходной программы контроля, программ АПМ, аппаратных средств АПМ и разработка программ АПМ, исходных программ контроля. Предложенные положения комплексного построения обеспечивают проведение всего процесса проектирования на основе сигнального описания требований по контролю ОК.

4 Предлагаемый подход построения АСК позволяет разделить процессы создания программ АПМ (программ выдачи стимулирующих сигналов, программ измерения контролируемых сигналов и т.п.) и программ контроля. При этом все данные по управлению устройствами АСК находятся в АПМ. Программа контроля в этом случае содержит данные по характеристикам стимулирующих и контролируемых сигналов ОК, по которым АПМ определяются конкретные значения данных управления аппаратными средствами АСК. Это позволяет существенно упростить процесс проектирования АСК, в частности сроки и затраты на разработку программ контроля сократить примерно в 3 - 4 раза.

5 На основе новых принципов модульности, представления АСК как совокупности АПМ и комплексного построения АСК в работе поставлены и решены задачи:

- построение и проектирование базового аппаратного обеспечения – унифицированного ряда аппаратно-программных модулей;
- построение и проектирование АСК на основе аппаратно-программных модулей.

Предложена методика разработки БАО, включающего совокупность

унифицированных АПМ, обеспечивающих модульное проектирование АСК на основе АПМ в заданной предметной области.

Предложена математическая формулировка задачи синтеза БАО, заключающаяся в обеспечении решения всех задач, возлагаемых на БАО, при минимальных суммарных затратах на разработку и производство БАО и удовлетворении условий полноты комплекса. Разработан алгоритм ее решения.

Разработанные принципы модульности и решения задачи проектирования БАО внедрены при создании нескольких поколений БАО ОАО «РКБ „Глобус”» - КАСАК-85, КАСАК-П, КАСАК-М. Объем оборудования комплексов КАСАК-85 и КАСАК-М, построенных на основе АПМ, по сравнению с комплексом КАСАК-2 (ОАО «РКБ „Глобус”»), построенным на основе аппаратных средств, уменьшен в 1,5 – 2 раза. Достигнутое уменьшение объема оборудования обуславливается, в основном, за счет применения новых принципов модульности с расширением объема реализуемых функций программными средствами. Уровень функциональной полноты обеспечивается не менее 0.9.

7 Предложена методика проектирования АСК как аппаратно-программной системы, которая основывается на выборе состава АПМ из унифицированного набора АПМ БАО и при необходимости специальных для обеспечения заданных требований по контролю ОК.

Предложена математическая формулировка задачи синтеза состава АСК для множества ОК, заключающаяся в определении набора АПМ, который обеспечивает выполнение заданных требований по достоверности контроля, времени контроля, объему памяти для каждой задачи контроля при минимальной стоимости решения всех задач контроля. Предложена математическая формулировка задачи синтеза состава АСК для одного ОК, заключающаяся в определении набора АПМ, который обеспечивает выполнение заданных требований по достоверности контроля, времени контроля, объему памяти при минимальной стоимости АСК. Разработан алгоритм их решения.

Проектирование АСК на основе АПМ показало, что по сравнению с существующими методами на базе аппаратных средств процесс резко упрощается. Создание АСК сводится практически на 80-90 % (уровень заимствования базовых АПМ) к выбору состава АПМ. В результате работы, связанные с разработкой методик контроля, структуры контрольно-измерительных каналов, состава аппаратных средств, структурно-методических вариантов контроля не проводятся, что дает существенный выигрыш в затратах на проектирование АСК.

Разработанные решения задач проектирования АСК как аппаратно-программной системы внедрены при создании АСК для различного ВВТ на ОАО «РКБ „Глобус”». В соответствии с предложенной методикой проектирования и решением задач синтеза создано более 50 АСК различного назначения на основе АПМ КАСАК-85 и более 10 АСК на основе АПМ КАСАК-М.

Объем оборудования АСК, построенных на основе модулей АПМ КАСАК-85 и КАСАК-М, примерно в 2 - 3 раза меньше объема оборудования АСК, построенных на основе аппаратных средств, а сроки разработки РКД сокращаются в 2 - 3 раза. Также и сокращение затрат на разработку АСК в целом (включая разработку конструкторской, программной документации, изготовление образцов, решение системных вопросов, настройку) составляет 2 - 3 раза. Кроме того, анализ

разработанных АСК, выполненных на базе единых средств БАО, показал, что доля общих частей в них составляет более 80 %, т.е. уровень межвидовой унификации превышает 80 %.

8 Ряд результатов выполненных исследований защищены патентами и авторскими свидетельствами.

Созданные решения использованы при выполнении НИР и ОКР, выполненных на предприятии по заказам Министерства обороны.

9 Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на семинарах и конференциях.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Максимов Ю.Н., Гоев Н.В., Поляков Ю.В. Измерение высокочастотных напряжений в АКИА // Вопросы радиоэлектроники. Серия «Общетехническая». 1982. № 8. – С. 68-77.

2 Пономарев Н.Н., Максимов Ю.Н., Фрумкин И.С., Гоев Н.В. Современное состояние и направления развития внешних средств контроля. – Тезисы докладов НТК «Состояние и перспективы развития основных направлений радиотехнологии и спецмашиностроения». Казань, 1989. – С. 55-56.

3 Пономарев Н.Н., Максимов Ю.Н., Фрумкин И.С., Гоев Н.В. Современное состояние и направления развития внешних средств контроля // Радиопромышленность. 1991. № 4. – С. 3-5.

4 Гоев Н.В. Контроль параметров РЭА на основе цифровой обработки сигналов. – Научно-техническая конференция «Проблемы военно-технической политики в области эксплуатации и ремонта ВВТ. Тезисы докладов. Часть 2. – Люберцы: ГНИИ ЭРАТ МО РФ, 2000. – С. 93-96.

5 Гоев Н.В. О создании унифицированных АСК зенитного ракетного вооружения // «Проблемы теории и практики развития войсковой ПВО в современных условиях»: Тезисы докладов XVI военно-научной конференции. – Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2008. – С. 47.

6 Пономарев Н.Н., Гоев Н.В. Унифицированные автоматизированные системы технического обслуживания и контроля ВВТ // Русский инженер. № 2009. № 4. – С. 153-154.

7 Гоев Н.В. Синтез автоматизированных систем контроля на основе аппаратно-программных модулей // Вестник РГРТУ, вып. 2(32). 2010. – С. 41-46.

8 Измеритель частоты заполнения радиопульсов. Авт. Гоев Н.В., Кузьмин Н.А., Савченко С.П., Фрумкин И.С. Авторское свидетельство № 773513, РФ, МКИ G01R 23/10.

9 Автоматизированная система контроля. Авт. Пономарев Н.Н., Гоев Н.В., Лушин В.Н., Антонов В.И., Тришкин В.И. Патент на изобретение № 2150730. РФ, МКИ G05B 23/02. Оpubл. 10.06.2000 г., БИ № 16.

10 Автоматизированная система контроля. Авт. Пономарев Н.Н., Гоев Н.В., Иванов В.Д., Кондралев Б.Н., Лушин В.Н., Антонов В.И., Тришкин В.И. Патент на изобретение № 2156493. РФ, МКИ G05B 23/02. Оpubл. 20.09.2000 г., БИ № 26.

11 Система контроля параметров. Авт. Пономарев Н.Н., Гоев Н.В., Корнеева О.В., Лушин В.Н., Антонов В.И., Тришкин В.И. Патент на изобретение № 2157559. РФ, МКИ G05B 23/02. Оpubл. 10.10.2000 г., БИ № 28.

12 Система контроля параметров. Авт. Пономарев Н.Н., Гоев Н.В., Лушин В.Н., Антонов В.И., Тришкин В.И. Патент на изобретение № 2150729. РФ, МКИ G05B 23/02. Оpubл. 10.06.2000 г., БИ № 16.

13 Система коммутации сигналов. Авт. Пономарев Н.Н., Максимов Ю.Н., Гоев Н.В., Миловзоров О.В. Патент на изобретение № 2173937. РФ, МКИ H03K 17/00. Оpubл. 20.09.2001 г., БИ № 26.

14 Способ измерения частоты. Авт. Пономарев Н.Н., Гоев Н.В. Патент на изобретение № 2365924 РФ, МПК 601R 23/20. Оpubл. 27.08.2009. Бюл. № 24.

Гоев Николай Васильевич

**ПОСТРОЕНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ
НА ОСНОВЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 04.05.2010.

Формат бумаги 60x84 1/16.

Условных печатных листов 1,1.

Тираж 100 экз. Заказ № 26.

Участок оперативной полиграфии ГНУ ВНИМС Россельхозакадемии,
390025, Рязань, ул. Щорса, д. 38/11.