

На правах рукописи



**СЕВЕРИН Валерий Александрович**

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ  
МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ АНАЛИЗА  
ИНФОРМАЦИИ О ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКЕ  
НА БАЗЕ ВСТРАИВАЕМЫХ  
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**Специальность 05.13.17 – теоретические основы информатики**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Пенза – 2011**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Пензенская государственная технологическая академия” на кафедре “Информационные технологии и системы”.

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор <b>Михеев Михаил Юрьевич</b>
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор <b>Истомина Татьяна Викторовна</b> доктор технических наук, профессор <b>Юрков Николай Кондратьевич</b>
Ведущая организация:	ОАО «Научно-исследовательский институт физических измерений» (ОАО НИИФИ), г. Пенза

Защита диссертации состоится 30 декабря 2011 г. в 10 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.337.01 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”.

Автореферат разослан 30 ноября 2011 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Чулков В.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Развитие моделей, методов, алгоритмов анализа радиолокационной информации и совершенствование технологий на базе специализированных вычислительных систем обеспечило возможности по созданию территориально распределенных систем комплексной обработки радиолокационной информации различного назначения, а также по обеспечению нового качества функционирования уже существующих систем.

Характерным примером территориально распределенных систем комплексной обработки радиолокационной информации являются специализированные вычислительные системы анализа информации о воздушной обстановке (ИВО) как совокупности объектов, находящихся в воздушном пространстве. К специализированным вычислительным системам анализа информации о воздушной обстановке (СВСА) ИВО относятся системы управления движением воздушных судов гражданской авиации, в которых решаются задачи безопасной навигации.

Основателями отечественной радиолокации и создателями аппаратуры для обнаружения самолетов с помощью электромагнитного луча были Ощепков П.К., Павельев В.А., Вайнберг Э.И. и Вайнберг И.А. Золотой медалью имени А.С. Попова был награжден Котельников В.А. за фундаментальные исследования в области теории связи и радиолокации планет.

Уфимцевым П.Я. были получены результаты, которые использовались при решении электродинамической задачи при разработке самолетов. Первым создателем антенны с электрическим сканированием был Юров Ю.Я. Бартон Д.Н. внес значительный вклад в решение задач управления воздушным движением.

Во многих находящихся в настоящее время в эксплуатации СВСА ИВО одним из основных источников информации о воздушной обстановке являются радиолокационные станции (РЛС) и подвижные радиовысотомеры (ПРВ), использующие при отображении и идентификации ИВО аналоговые сигналы. Одна из основных задач в указанных РЛС и ПРВ – идентификация информации о воздушных объектах, определение их координат, параметров движения, а также специальных признаков (государственная принадлежность, признак того, что летательный аппарат терпит бедствие, и т.д.). Эта задача в большинстве аналоговых РЛС и ПРВ решается операторами путем визуального анализа информации о воздушной обстановке на аналоговых средствах отображения.

Современные темпы развития информационных технологий существенно опередили скорость реального переоснащения существующих СВСА ИВО, что в условиях возрастающих требований к таким системам является недопустимым. Однако, несмотря на то, что существующие СВСА ИВО реализуют устаревшие технологии сбора и обработки информации, они, тем не менее, имеют приемлемые характеристики радиолокационных средств, систем наведения и пр. Кроме того, многие из существующих систем (в первую очередь, мобильные) не выработали ресурсы своих наиболее дорогостоящих

элементов, таких как транспортная база, системы жизнеобеспечения и электропитания и т.д.

В сложившихся условиях актуальной является задача разработки процедуры поэтапной модернизации таких систем, повышающей их эффективность, и, вместе с тем, не нарушающей целостности функционирования при обеспечении непрерывности информационного обмена.

В качестве решения поставленной задачи, в целях существенного улучшения интегральных характеристик СВСА ИВО, предлагается разработка встраиваемых аппаратно-программных комплексов (ВАПК), реализующих современные технологии обработки информации и допускающих их включение в существующие системы без нарушения целостности их функционирования.

ВАПК должны обеспечивать преобразование сигналов от аналоговых РЛС и ПРВ в цифровую форму, обработку преобразованных сигналов с помощью эффективных алгоритмов цифровых фильтрации и идентификации, а также отображение информативных составляющих дискретных радиолокационных (ДРЛ) сигналов должностным лицам модернизируемых объектов для принятия решений.

Кроме того, увеличение объема и сложности обрабатываемой информации приводит к ужесточению требований к современным СВСА ИВО по производительности, быстродействию и объему обрабатываемых данных. Влияние человеческого фактора в таких системах должно быть сведено к минимуму или исключено. Следовательно, операции, выполняемые оператором, должны быть формализованы и автоматизированы с использованием ВАПК.

Одним из перспективных путей автоматизации и интеллектуализации процедуры идентификации информации о воздушных объектах является применение алгоритмов нейросетевой классификации. Основным отличием от классических процедур идентификации является возможность обучения системы, которая реализуется путем подстройки весов нейронной сети под рассматриваемый класс сигналов. Обученная нейронная сеть может успешно распространять опыт, полученный в процессе обучения, на неизвестные сигналы за счёт универсальных аппроксимирующих способностей. Преимущества алгоритмов нейросетевой классификации свидетельствуют о перспективности их применения при синтезе процедуры идентификации ДРЛ сигналов.

Проанализированные в работе процедуры идентификации обеспечивают достаточно высокую точность (95–98%) при анализе стандартного набора входных сигналов. При наличии неизбежных в реальных условиях искажений ДРЛ сигнала, наблюдается резкое снижение точности идентификации (до 50–60%), что объясняется ограничениями размера обучающей выборки при формировании вектора информативных признаков, инвариантного к искажениям. Как правило, вектор информативных признаков формируют на основе спектра ДРЛ сигнала.

На основании проведенного в работе анализа спектральных преобразований показано, что для решения задачи идентификации воздушных объектов в СВСА ИВО наиболее целесообразно использование вейвлет-преобразования. Основным отличием вейвлет-преобразования от частотных преобразований, в частности преобразования Фурье, является наличие дополнительной степени свободы, которая позволяет одновременно исследовать как частотные, так и временные особенности сигнала. Благодаря данному свойству, вейвлет-преобразование позволяет анализировать сложные сигналы и получать более информативный спектр, преодолевая ограничения частотных преобразований.

Применение алгоритмов нейросетевой классификации для идентификации ДРЛ сигналов проработано достаточно подробно. Однако при этом сочетании алгоритмов нейросетевой классификации с вейвлет-преобразованием применительно к идентификации ДРЛ сигналов уделено мало внимания. Поэтому основное внимание в работе уделено нейросетевой классификации ДРЛ сигналов по их вейвлет-спектрам и моделированию СВСА ИВО.

Функционирование СВСА ИВО осуществляется в режиме реального времени. Требования по быстродействию к таким системам достаточно высоки, что требует предварительной отработки и оптимизации процедур идентификации на имитационных моделях. Актуальна отработка имитационных моделей процедуры идентификации на реальных сигналах. Предлагается использовать для этих целей специализированную среду имитационного моделирования MatLab/Simulink с последующей отработкой алгоритмов реального времени в рамках натуральных испытаний.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод об актуальности разработки теоретических и практических вопросов использования алгоритмов нейросетевой идентификации воздушных объектов по их вейвлет-спектрам для использования в качестве математического аппарата, реализуемого в ВАПК.

**Объект исследования:** специализированные вычислительные системы анализа информации о воздушной обстановке.

**Предмет исследования:** методы и средства анализа информации о воздушной обстановке от аналоговых радиолокационных станций в существующих специализированных вычислительных системах анализа ИВО при их модернизации.

**Цель исследования:** повышение производительности процедур анализа информации о воздушной обстановке от аналоговых радиолокационных станций с использованием встраиваемых аппаратно-программных комплексов.

Достижение поставленной цели исследования обеспечивается решением научных задач:

1. Синтез процедуры взаимодействия информационных процессов в специализированных вычислительных системах анализа информации о воздушной обстановке на базе аппаратно-программных комплексов, встраиваемых в существующие системы на этапе модернизации.

2. Синтез обобщенных информационной и математической моделей воздушной обстановки в специализированных вычислительных системах анализа информации о воздушной обстановке.

3. Синтез алгоритмов автоматизированного анализа информации о воздушной обстановке и распознавания радиолокационных образов воздушных объектов.

4. Разработка технических решений по практической реализации аппаратно-программных комплексов, встраиваемых в системы анализа информации о воздушной обстановке.

**Методы исследования** включают в себя методы и положения цифровой обработки сигналов, распознавания образов, искусственных нейронных сетей, математической логики, а также методы математического и имитационного моделирования в среде *MatLab Simulink*.

**Соискателем лично получены следующие научные результаты, изложенные в диссертации и вынесенные на защиту:**

1. Процедура взаимодействия информационных процессов в специализированных вычислительных системах анализа ИВО на базе аппаратно-программных комплексов, встраиваемых в существующие системы на этапе модернизации.

2. Обобщенные информационная и математическая модели воздушной обстановки в специализированных вычислительных системах анализа ИВО на основе исследования информационных процессов в аналоговых радиолокационных станциях.

3. Алгоритм автоматизированного анализа информации о воздушной обстановке и выделения информативных составляющих.

4. Алгоритм распознавания радиолокационных образов воздушных объектов на основе закономерностей, присущих информации о воздушных объектах, с помощью комбинации вейвлет-преобразования и нейросетевой классификации.

5. Технические решения по модернизации специализированных вычислительных систем анализа информации о воздушной обстановке:

– “Автоматизированное рабочее место оператора управления воздушным движением”;

– “Аппаратура приема и реализации целеуказания”;

– “Модуль планирования”.

**Обоснованность** полученных научных результатов обеспечивается корректным выбором основных допущений и ограничений, обоснованием критериев и показателей эффективности нейросетевой классификации информации о воздушной обстановке.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается результатами имитационного моделирования и экспериментальными данными.

**Научная новизна полученных результатов:**

1. Синтезирована процедура взаимодействия информационных процессов в СВСА ИВО на базе аппаратно-программных комплексов, встраиваемых в

существующие системы. Синтезированная процедура взаимодействия информационных процессов в СВСА ИВО позволила разработать технические решения по модернизации систем анализа информации о воздушной обстановке.

2. Разработаны обобщенные информационная и математическая модели воздушной обстановки в СВСА ИВО, включающие двумерную матрицу и обобщенные классификационные признаки элементов воздушной обстановки, которые отличаются использованием информации, получаемой от аналоговых радиолокационных станций, преобразованной в цифровую форму.

3. Обобщенные информационная и математическая модели позволили синтезировать алгоритм автоматизированного анализа информации о воздушной обстановке.

4. Синтезирован алгоритм распознавания радиолокационных образов воздушных объектов, отличающийся использованием комбинации вейвлет-преобразования и нейросетевой классификации, который позволил повысить производительность и вероятность распознавания воздушных объектов в системах анализа информации о воздушной обстановке.

**Научная значимость диссертации** заключается в развитии прикладных информационных технологий и алгоритмов нейросетевой идентификации воздушных объектов с использованием аппаратно-программных комплексов, встраиваемых в существующие системы анализа информации о воздушной обстановке.

**Практическая значимость полученных результатов:**

Полученные научные результаты позволили выработать предложения по минимизации затрат на переоснащение СВСА ИВО, а также автоматизировать процедуры анализа информации о воздушной обстановке и распознавания радиолокационных образов воздушных объектов.

Разработанные технические решения позволили повысить тактико-технические характеристики СВСА ИВО, обеспечивающих информационные потребности коллективных и индивидуальных пользователей (должностных лиц).

**Реализация и внедрение результатов.**

Полученные результаты использованы в разработках ОАО “НПП “Рубин” (г. Пенза). Материалы диссертации используются в учебном процессе кафедры “Информационные технологии и системы” Пензенской государственной технологической академии.

**Апробация работы.**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международной конференции “Континуальные логико-алгебраические исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике – Клин-2001, 2002” (г. Ульяновск, 2001–2002 гг.), Международном симпозиуме “Надежность и качество” (г. Пенза, 2001–2002 гг.), III Всероссийской научно-технической конференции “Методы и средства измерений” (г. Нижний Новгород, 2001 г.), Всероссийской научно-технической конференции “Мето-

ды и средства измерения в системах контроля и управления” (г. Пенза, 2002 г.), Международной научно-технической конференции “Современные информационные технологии” (г. Пенза, 2002 г.), Заочной Всероссийской научно-технической конференции “Методы и средства измерений” (г. Н.Новгород, 2002 г.), Девятой военно-научной конференции “Повышение эффективности и боевых возможностей группировок войск ПВО в операциях на стратегическом направлении” (г. Смоленск, 2002 г.), Всероссийской научно-технической конференции “Датчики систем измерения, контроля и управления” (г. Пенза, 2002 г.), Всероссийской научно-технической конференции “Методы и средства измерения в системах контроля и управления” (г. Пенза, 2002 г.), XI Всероссийской научно-технической конференции “Информационные технологии в науке, проектировании и производстве” (г. Н.Новгород, 2004 г.), Третьей Всероссийской научно-технической конференции “Радиовысотометрия–2010”, (г. Екатеринбург, 2010 г.).

#### **Публикации.**

По теме диссертации опубликовано 26 печатных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 8 работ в сборниках материалов международных научно-технических конференций и симпозиумов, 9 работ в сборниках материалов всероссийских научно-технических конференций.

Предложенные в работе технические решения защищены 2 патентами на изобретения и 3 патентами на полезные модели.

#### **Структура и объем диссертации.**

Работа состоит из введения, списка сокращений, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Диссертация содержит 151 страницу основного текста, включая 33 рисунка, 14 таблиц, список литературы из 157 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность и практическая значимость темы диссертационной работы, кратко оценено состояние предметной области, сформулированы актуальные задачи в области идентификации сигналов в системах анализа информации о воздушной обстановке, определены основные задачи исследования.

**В первой главе** проведен системный анализ современного состояния исследований и разработок систем анализа информации о воздушной обстановке с целью определения возможностей повышения производительности процедур обработки сигналов от аналоговых радиолокационных станций и повышения вероятности идентификации воздушных объектов в СВСА ИВО на базе аналоговых РЛС.

В результате проведенного системного анализа синтезированы процедура взаимодействия информационных процессов в существующих СВСА ИВО и обобщенная структура автоматизированной СВСА ИВО на базе аналоговых РЛС, включающая в себя радиолокационные станции кругового (РЛС КО) и



секторного обзора (РЛС СО), комплексы средств автоматизации (КСА) и объекты управления (рисунок 1).

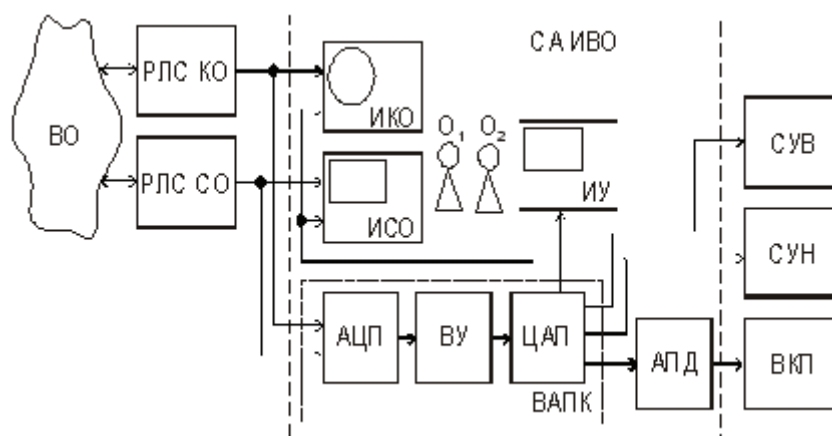


Рисунок 1 – Обобщенная структура модернизируемых СВСА ИВО

Основным интеллектуальным элементом существующих СВСА ИВО являются должностные лица (операторы  $O_1$ ,  $O_2$ ), которые в соответствии с задачами, решаемыми системой, осуществляют анализ информации о воздушной обстановке, отображаемой на индикаторах кругового и секторного обзора (ИКО, ИСО), индикаторе информации о состоянии управляемых систем (ИУС) и принятие решений по выработке управляющих воздействий на активные элементы системы (управляющие системы РЛС, системы управления навигацией (СУН), системы управления воздействиями (СУВ), а также по передаче информации о воздушной обстановке на вышестоящий командный пункт (ВКП).

Анализ информации о воздушной обстановке осуществляется операторами РЛС визуально по совокупности элементов, отображаемых на средствах индикации. Визуализация информации на индикаторах производится с помощью аналоговых сигналов. Идентификация и классификация воздушных объектов осуществляется также визуально по совокупности информационных признаков (форма и геометрические параметры отображаемых элементов, их яркость, насыщенность и т.д.), указывающих на принадлежность воздушных объектов к тому или иному классу. На основе процедуры взаимодействия информационных процессов и обобщенной структуры систем анализа информации о воздушной обстановке синтезированы обобщенные алгоритмы функционирования СВСА ИВО в целом, а также алгоритмы функционирования существующих систем анализа информации о воздушной обстановке, использующих аналоговые радиолокационные станции в качестве основного источника информации.

Таким образом, в результате проведенного системного анализа современного состояния исследований и разработок систем анализа информации о воздушной обстановке одним из направлений развития СВСА ИВО определена поэтапная модернизация, задачей которой является повышение интегральных характеристик систем при сохранении наиболее дорого-

стоящих элементов систем и объектов (транспортная база, РЛС, системы воздействия и т.п.).

Далее в работе синтезирована обобщенная структура модернизируемых СВСА ИВО (рисунок 1) и процедура взаимодействия информационных процессов с использованием ВАПК (рисунок 2). С целью существенного повышения производительности существующих СВСА ИВО на этапе их модернизации предложено включение в их состав аппаратно-программных комплексов, предназначенных для автоматизации процессов идентификации информации о воздушных объектах и представления ее в виде, более информативном для выработки аналитических и управленческих решений.

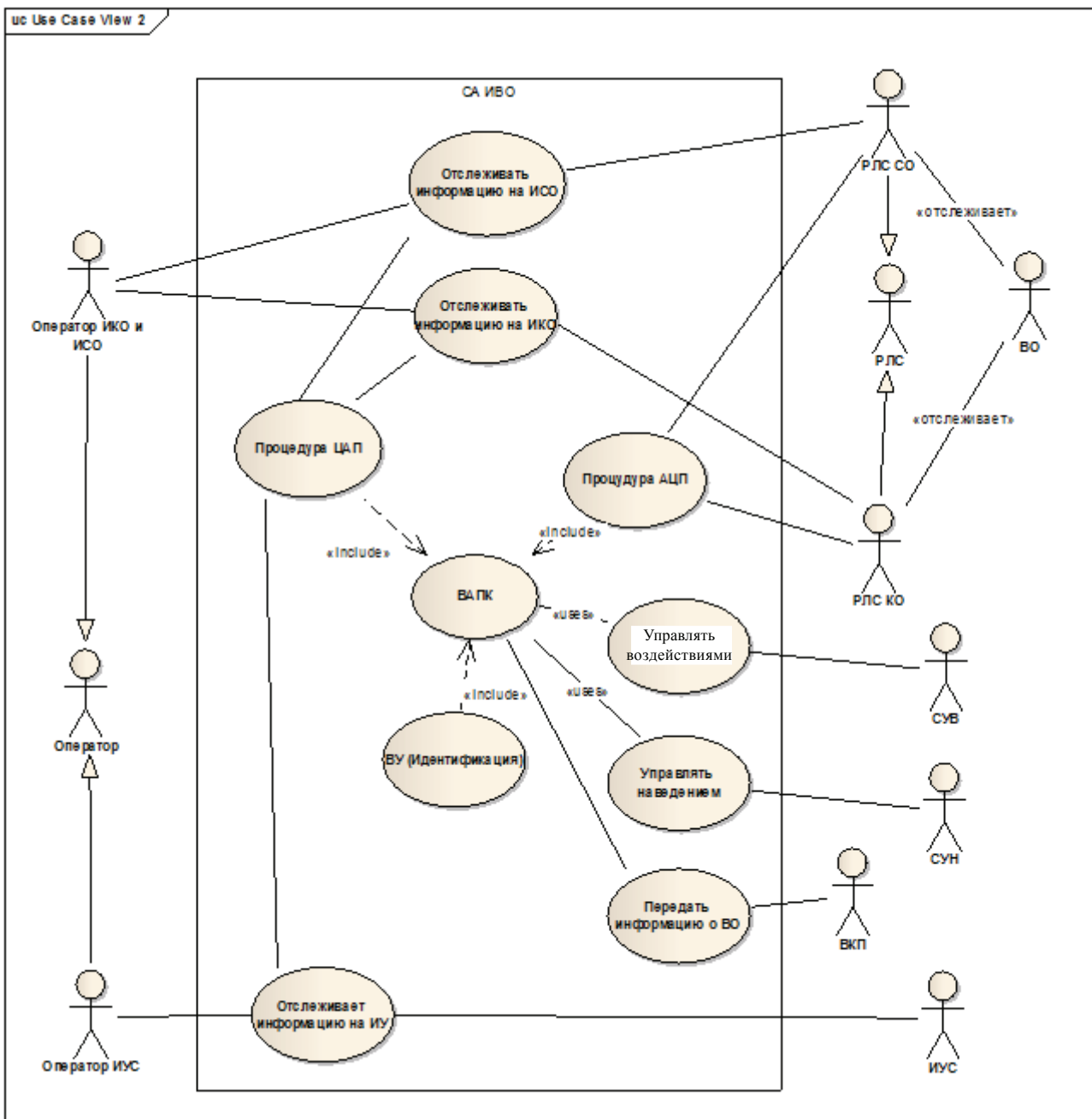


Рисунок 2 – Процедура взаимодействия информационных процессов в модернизируемых СВСА ИВО с использованием ВАПК

Аппаратно-программные комплексы, включаемые в состав СВСА ИВО, осуществляют преобразование аналоговых сигналов от РЛС в цифровую форму и обработку преобразованной информации с целью идентификации воздушных объектов и дальнейшего определения при необходимости в автоматическом режиме их параметров (координаты местоположения, тип объекта, скорость, направление и ускорение перемещения, и т.п.).

Таким образом, синтезированная в работе структура модернизируемых СВСА ИВО отличается наличием встраиваемого аппаратно-программного комплекса, что позволило повысить производительность операций идентификации воздушных объектов.

Основными задачами встраиваемого аппаратно-программного комплекса являются:

- аналого-цифровое преобразование эхо-сигнала и сигналов от систем позиционирования линии визирования антенны РЛС;
- выделение информативных составляющих эхо-сигнала (спектральный анализ эхо-сигнала);
- распознавание радиолокационных образов воздушных объектов;
- определение координат и параметров движения воздушных объектов;
- организация интерактивного режима управления ВАПК оператором РЛС;
- отображение информации о воздушной обстановке и квитанций исполнения команд управления от операторов РЛС.

Основными элементами ВАПК должны являться:

- подсистема аналого-цифрового преобразования сигнала от РЛС;
- подсистема спектрального анализа информации о воздушной обстановке (выделения информативной составляющей ДРЛ сигнала);
- подсистема распознавания радиолокационных образов воздушных объектов;
- подсистема отображения информации и организации интерактивного режима работы ВАПК с оператором РЛС.

Анализ технологических предпосылок реализации встраиваемых аппаратно-программных комплексов показывает принципиальную возможность разработки ВАПК. При этом основными функциональными элементами ВАПК определяются:

- интегральные аналого-цифровые преобразователи;
- программируемые логические интегральные схемы;
- вычислительное устройство (ВУ) в составе бортовой ЭВМ, функционального модуля цифрового процессора сигналов, средств ввода и отображения информации из состава семейства ЭВМ для специальных применений “Багет”.

**Во второй главе** синтезированы обобщенные информационная и математическая модели воздушной обстановки. Задачей синтеза обобщенной информационной модели воздушной обстановки является интерпретация информации, получаемой от систем РЛС и преобразованной в цифровую

форму, в информацию, пригодную для подсистемы идентификации воздушных объектов. Синтез информационной модели проведен на основе анализа физических и информационных процессов, происходящих в аналоговых РЛС при разведке воздушного пространства.

Информация о воздушной обстановке, обработанная в первичных трактах аналоговых РЛС и являющаяся входной для ВАПК, представляет собой совокупность следующих сигналов:

- эхо-сигнал с приемного тракта;
- сигнал синхронизации измерения дальности в текущем зондировании (импульс начала дистанции, импульс запуска);
- сигналы от систем управления приводами антенны.

$$D = \left\{ \begin{array}{cccc} d_{11}, d_{12}, \dots & & & d_{1, D_{\max}} \\ d_{21}, d_{22}, \dots & & & d_{2, D_{\max}} \\ & \dots & & \\ & & \dots, d_{ij}, \dots & \\ & \dots & & \\ d_{D_{\max} 1}, d_{D_{\max} 2}, \dots & & & d_{D_{\max} D_{\max}} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Обобщенная информационная модель воздушной обстановки, используемая в настоящей работе, может быть представлена в виде двумерной матрицы (1), содержащей значения амплитуды сигнала с детектора РЛС  $d_{ij}$  (далее по тексту – отсчетов), измеренных за время, равное такту дискретизации  $t_d$ .

Предлагаемая модель разработана, исходя из принципов разведки воздушного пространства, реализуемых радиолокационными станциями.

Каждая строка матрицы воздушной обстановки представляет собой последовательность отсчетов за одно зондирование воздушного пространства, именуемое в СВСА ИВО “дистанцией”. Вторая координата (индекс)  $j$  в матрице ВО представляет собой параметр, соответствующий времени от спада последнего импульса запуска до момента измерения амплитуды сигнала в текущем зондировании (промежутке времени между двумя последовательными импульсами запуска). Эта координата пропорциональна расстоянию от излучателя передатчика РЛС до области пространства (части сферы), от которой в данный момент времени получен отраженный сигнал.

Первый индекс  $i$  в матрице ВО соответствует одному зондированию пространства (одной дистанции). Для одного зондирования координата перемещения линии визирования антенны (для РЛС кругового обзора – азимут) считается условно постоянной. Указанная координата далее по тексту работы именуется “азимут”. Начало координат по азимуту (индекс, равный единице в матрице ВО) соответствует условной границе обзора (одного полного оборота линии визирования антенны). Граница обзора именуется началом обзора и, как правило, за начало обзора принимается направление “на Север”.

Таким образом, матрица ВО представляет собой дискретную модель воздушного пространства, разведанного РЛС за время одного полного обзора. Матрица ВО может быть подвергнута обработке с целью определения координат местоположения воздушных объектов, находящихся в данный момент в зоне обзора.

Графическая интерпретация фрагмента матрицы ВО представлена на рисунке 3.

Анализ файлов регистрации информации от аналоговых РЛС позволил выявить и формализовать приведенные в работе аналитические зависимости, экстраполирующие основные элементы воздушной обстановки:

- воздушные объекты;
- активные помехи;
- пассивные помехи;
- отражения от местных предметов;
- отражения от метеобразований.

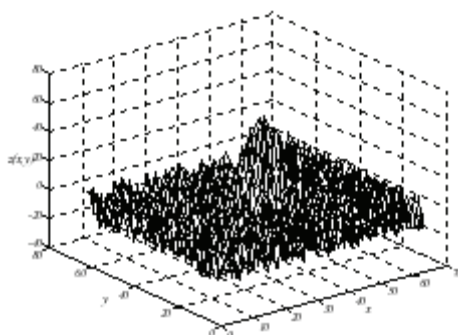


Рисунок 3 – Графическая интерпретация фрагмента матрицы ВО

Реальный сигнал, несущий информацию о воздушной обстановке, представляется в виде суммы информативной и неинформативной составляющих (рисунок 5).

$$z(x, y) = s(x, y) + n(x, y), \quad x = \overline{1, K}, y = \overline{1, L}. \quad (2)$$

Анализ реального сигнала позволил автору разработать аналитическую модель информативной составляющей сигнала в виде двумерной функции  $s(x, \bar{y})$  [3]:

$$s(x, y) = \frac{A \sin(y - y_0)}{(y - y_0)} \cdot \left[ \exp \left( -\frac{(x - x_0)^2}{2p_{x0}^2} - \frac{(x - x_1)^2}{2p_{x1}^2} \right) \right]^1, \quad (3)$$

где  $A$  – амплитуда главного всплеска сигнала;  $x_0, y_0$  – координаты центрального всплеска;  $p_{x0}, p_{x1}$  – полуширина по оси  $x$ .

На рисунке 4 представлен график информативной составляющей при ( $A = 50$ ,  $x_0 = 32, y_0 = 32, p_{x0} = \frac{1}{\sqrt{2}}, p_{x1} = 1$ ).

Неинформативная составляющая представляет собой сложный сигнал, состоящий из множества неинформативных сигналов от посторонних объектов,

помех тракта передачи и преобразования, электромагнитных возмущений внешней среды и т.д. В общем, выделим три вида неинформативных составляющих:

$$n(x, y) = n_{\text{стат}}(x, y) + n_{\text{дин}}(x, y) + \sigma n_0(x, y), \quad (4)$$

где  $n_{\text{стат}}(x, y)$  – сигнал от посторонних статических объектов;  $n_{\text{дин}}(x, y)$  – сигнал от посторонних динамических объектов;  $\sigma n_0(x, y)$  – равномерно распределенная по всей плоскости сигнала неинформативная составляющая с дисперсией  $\sigma$ .

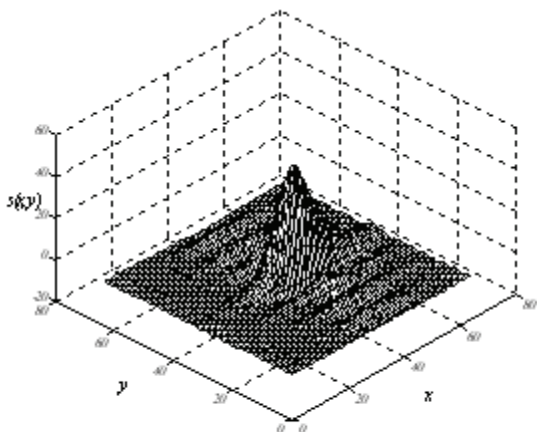


Рисунок 4 – График функции  $s = s(x, y)$

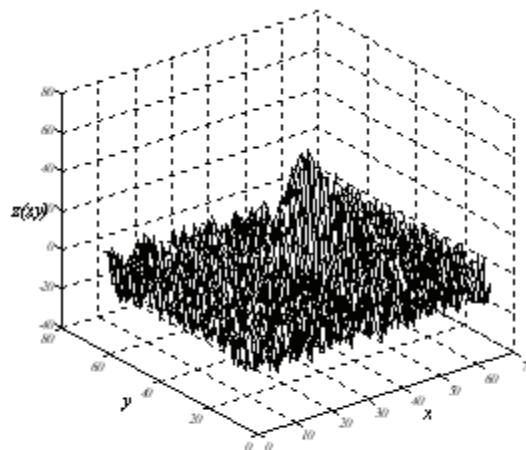


Рисунок 5 – График функции  $z = z(x, y)$

Неинформативная составляющая от посторонних динамических объектов может быть представлена аналитической моделью, описываемой двумерными функциями Гаусса.

$$n_{\text{дин}}(x, y) = A \cdot \exp \left( -\frac{(x - x_0)^2}{2P_x^2} - \frac{(y - y_0)^2}{2P_y^2} \right) \quad (5)$$

Неинформативная составляющая  $\sigma n_0(x, y)$ , равномерно распределенная по всей плоскости сигнала, возникает вследствие погрешностей измерительного тракта и подсистем обработки информации и представляет собой окрашенный шум, который в большинстве случаев по мощности не превышает 20–40% от амплитуды информативной составляющей сигнала, но в ряде случаев может достигать 100% и более.

Соответственно, (5) с учетом (3), (4) имеет вид:

$$z(x, y) = s(x, y) + n_{\text{стат}}(x, y) + n_{\text{дин}}(x, y) + \sigma n_0(x, y) \quad (6)$$

Выражение (6) представляет собой синтезированную математическую модель воздушной обстановки, представляющую собой совокупность ана-

литических зависимостей, определяющих отдельные объекты воздушной обстановки, подлежащие идентификации в СВСА ИВО.

**В третьей главе** синтезирован алгоритм автоматизированного анализа информации о воздушной обстановке и распознавания радиолокационных образов воздушных объектов.

Основными информационными процессами определены процедура спектральных преобразований ДРЛ сигналов и процедура распознавания радиолокационных образов воздушных объектов.

Задачей синтеза процедуры спектральных преобразований для анализа дискретных радиолокационных сигналов является выбор спектрального преобразования, его параметров, а также алгоритма пороговой обработки, обеспечивающих максимально точное выделение информативных составляющих ДРЛ сигналов на фоне неинформативных.

В качестве метода синтеза процедуры спектрального преобразования использовано последовательное применение прямого и обратного преобразований к информативной и неинформативной составляющим с последующей оценкой погрешности восстановления для информативной и степени подавления для неинформативной составляющих.

С использованием среды MATLAB были проанализированы основные спектральные преобразования. Результаты анализа приведены в таблице 1.

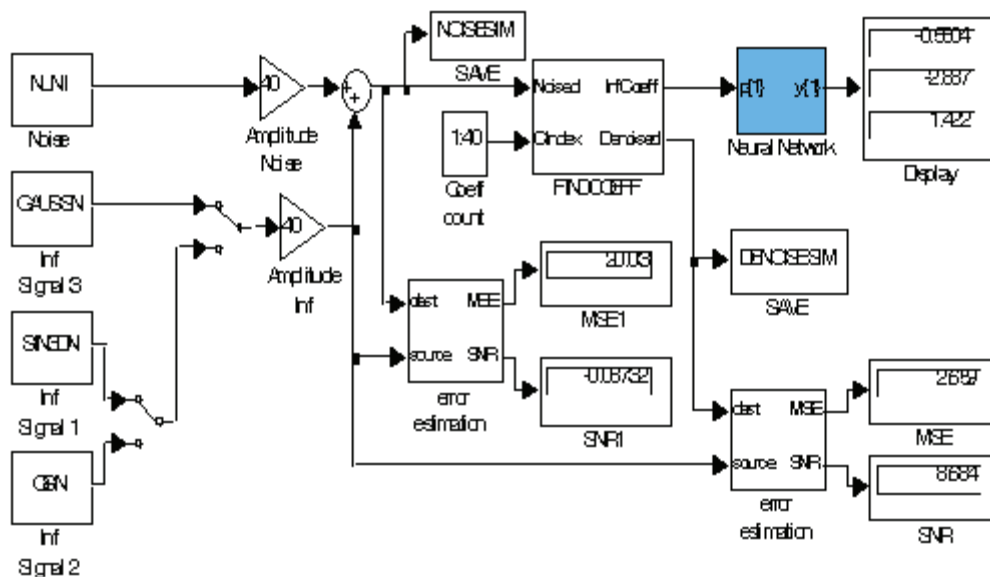


Рисунок 6 – Simulink-модель СВСА ИВО

Синтез модели произведен с использованием библиотек DSP Blockset и Neural Network Blockset, а также специально разработанных модулей (рисунок 6). Имитационная модель включает три модуля:

- 1) модуль выделения информативной составляющей, включающий модули минимизации искажений по вейвлет-спектрам ДРЛ сигнала и формирования вектора информативных признаков;
- 2) модуль нейросетевой классификации;

3) модуль оценки точности восстановления по критериям MSE и SNR. Далее в работе проведен сравнительный анализ трех видов спектральных преобразований: Габора, дискретного косинусного и ортогонального вейвлет-преобразования.

Как следует из таблицы 1, наивысшую точность восстановления обеспечивает преобразование Карунера-Лоэва. К сожалению, его реализация затруднена вследствие отсутствия быстрого алгоритма его реализации.

Таблица 1 – Результаты анализа спектральных преобразований для ДРЛ сигнала.

<b>Вид преобразования</b>	<b>MSE</b>	<b>SNR</b>
Преобразование Адамара	4.9324	-1.6265
Преобразование Хаара	5.1762	-1.9400
Преобразование Уолша	4.6547	-1.4234
<b>Дискретное косинусное преобразование</b>	<b>2.0508</b>	<b>2.1382</b>
<b>Преобразование Габора</b>	<b>4.2670</b>	<b>-1.3471</b>
ОПФ с окном Дирихле	4.5357	-1.3909
ОПФ с окном Барлетта	4.6629	-1.4236
<b>Вейвлет-преобразование (ортогональное)</b>	<b>1.9068</b>	<b>3.3529</b>
Вейвлет-преобразование (биортогональное)	5.2534	-2.0124
Преобразование Радона	4.9410	-1.6305
Преобразование Карунера-Лоэва	2.4241	2.0342
Наклонное преобразование	4.8930	-1.5903

Оценки точности восстановления по критериям MSE и SNR к восстановленным сигналам приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценки точности восстановления сигналов.

<b>Вид преобразования</b>	<b>MSE</b>	<b>SNR</b>
Преобразование Габора	4.2670	-1.3471
<b>Вейвлет-преобразование</b>	<b>1.9068</b>	<b>3.3529</b>
Косинусное преобразование	2.0508	2.1382

Результаты моделирования показали, что вейвлет-преобразование обеспечивает максимально точное восстановление формы центрального всплеска, что свидетельствует о хорошем частотно-временном разрешении данного метода. В отличие от преобразования Фурье и косинусного преобразования вейвлет-преобразование обеспечивает приемлемое качество восстановления формы боковых всплесков, что свидетельствует о высоком разрешении по времени на низких частотах.

Следует отметить, что для СВСА ИВО время реакции имеет принципиальное значение. Поскольку вейвлет-преобразование имеет быстрый алгоритм реализации, оно применимо для систем реального времени. Таким образом, показано, что для решения задачи спектрального анализа (формирова-



ния вектора спектральных коэффициентов) ДРЛ сигнала наиболее целесообразно применение именно вейвлет-преобразования.

Задачей синтеза процедуры автоматизированного распознавания радиолокационных образов воздушных объектов является разработка алгоритма распознавания с учетом вектора спектральных коэффициентов ДРЛ сигнала и закономерностей, присущих данным о воздушных объектах, находящихся в зонах видимости РЛС.

В модернизируемых изделиях задача распознавания воздушных объектов решалась оператором визуально на основе субъективного анализа элементов воздушной обстановки на экранах индикаторов. Подобный подход требовал длительной подготовки, в т.ч. в полевых условиях, и не гарантировал надлежащего быстродействия и точности идентификации. К тому же современный уровень развития СВСА ИВО требует автоматизации процедуры идентификации информации о воздушных объектах с минимальным влиянием человеческого фактора.

В общем случае ДРЛ сигнал является достаточно сложным и может быть представлен как аналитической, так и статистической моделями сигналаобразования. Если предположить, что ДРЛ сигнал является стационарным, возможно применение аналитической модели сигналаобразования, при этом можно ограничиться синтезом процедуры идентификации на основе метрик, линейного дискриминантного анализа, эластичных графов и т.д. Если же сигнал достаточно сложен и может быть описан только статистической моделью, процедуру идентификации нельзя свести к классическим методам и требуется интеллектуализация процедуры на основе нейронных сетей, экспертных систем, фильтров Габора, метода главных компонент, нечёткой логики, скрытых Марковских моделей и т.д. Применение методов на основе искусственного интеллекта позволяет адаптироваться к модели сигналаобразования. Одним из перспективных путей интеллектуализации процедуры идентификации информации о воздушных объектах является применение алгоритмов нейросетевой классификации.

В работе синтезирована процедура нейросетевой классификации для идентификации ДРЛ сигналов. На основе результатов имитационного моделирования в качестве оптимальной архитектуры предложен двухслойный персептрон с 40–60-ю нейронами в скрытом слое. Количество входов составляет 80–100. Алгоритм обучения – квазиньютонов метод Бройдена и др. При выборе данной архитектуры средняя точность идентификации при незначительном влиянии неинформативной составляющей (10–30%) составила 100%, при среднем (30–80%) – приблизительно 95% при большом (от 100%) – от 93% и ниже. Отмечено, что точность идентификации, главным образом, зависит от качества обучающей выборки, т.е. от того, каким образом будут расположены коэффициенты вейвлет-преобразования. Дальнейшим этапом моделирования может быть учет пространственной топологии коэффициентов вейвлет-преобразования, который заключается в применении нейронных сетей к участкам спектра и анализе их взаимного расположения. Лучшим образом для этого подходят архитектуры свёрточных сетей и неокогнитрона.

Таким образом, исходя из поставленной задачи, в работе синтезирована процедура спектральных преобразований для анализа дискретных радиолокационных сигналов, что позволило минимизировать искажения информативной составляющей при фильтрации неинформативных составляющих. Это повысило эффективность процедуры последующего распознавания радиолокационных образов воздушных объектов.

Разработан алгоритм автоматизированной идентификации воздушных объектов, отличающийся учетом закономерностей, присущих данным о воздушных объектах, находящихся в зонах видимости аналоговых РЛС кругового обзора, что позволило автоматизировать процедуру распознавания воздушных объектов, повысить вероятность распознавания и разработать технические решения по модернизации и повышению эффективности функционирования систем анализа информации о воздушной обстановке.

**В четвертой главе** представлены технические решения по модернизации и повышению эффективности функционирования систем анализа информации о воздушной обстановке, реализованные с использованием информационной и математической моделей воздушной обстановки, представленных в главе 2, а также алгоритмов спектрального анализа и идентификации воздушных объектов, разработанных в главе 3:

- “Автоматизированное рабочее место оператора управления воздушным движением”;
- “Аппаратура приема и реализации целеуказания”;
- “Модуль планирования”.

Автоматизированное рабочее место оператора управления воздушным движением предназначено для обеспечения взаимодействия комплексов средств автоматизации систем анализа информации о воздушной обстановке с аналоговыми радиолокационными станциями и высотомерами путем подключения к ним выносных блоков сопряжения.

Аппаратура приема и реализации целеуказания выполнена на базе ПЭВМ, в которой программным образом реализованы функции устройств автосъема и сопровождения целей от станции обнаружения целей (СОЦ), отождествления информации от СОЦ, станции сопровождения целей (ССЦ) и вышестоящего командного пункта (ВКП), формирования донесений на ВКП, ранжирования целей по приоритету.

Модуль планирования, предназначенный для повседневной деятельности подчиненных сил и средств в процессе управления воздушным движением, входящий в состав автоматизированной системы сбора и обработки радиолокационной информации о воздушной обстановке, оперативно-тактической информации о наземной обстановке и выработке управляющих воздействий подчиненным объектам.

Представленные технические решения предназначены для автоматизации и оптимизации процессов сбора и анализа информации и выработки управляющих воздействий в системах анализа информации о воздушной обстановке.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе проведенного исследования современного состояния специализированных вычислительных систем анализа информации о воздушной обстановке синтезирована процедура взаимодействия информационных процессов в СВСА ИВО на базе аппаратно-программных комплексов, встраиваемых в существующие системы анализа информации о воздушной обстановке на этапе модернизации.

2. Синтезированы обобщенные информационная и математическая модели воздушной обстановки на основе исследования информационных процессов в аналоговых радиолокационных станциях (РЛС) кругового обзора и информационных потребностей коллективных и индивидуальных пользователей (должностных лиц) СВСА ИВО, отличающиеся учетом закономерностей, присущих информации о воздушных объектах в зонах видимости РЛС кругового обзора.

3. Синтезированы алгоритмы автоматизированного анализа информации о воздушной обстановке и распознавания радиолокационных образов воздушных объектов, определения их координат и параметров движения на основе закономерностей, присущих информации о воздушных объектах, отличающиеся использованием комбинации вейвлет-преобразования и нейросетевой классификации.

4. Разработаны технические решения по модернизации специализированных вычислительных систем анализа информации о воздушной обстановке:

- “Автоматизированное рабочее место оператора управления воздушным движением”;
- “Аппаратура приема и реализации целеуказания”;
- “Модуль планирования”.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### (Издания из перечня ВАК)

1. *Северин, В.А.* Организация управления графическим дисплейным контроллером на базе БИС 1809ВГ4 с помощью активного интервального таймера / *В.А. Северин* // Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. – Москва, Научно-исследовательский институт экономики и информации по радиоэлектронике, 1992. – Вып. 12. – С. 91–94.

2. *Северин, В.А.* Алгоритм функционирования адаптивного фильтра низкой частоты / *М.Ю. Михеев, В.А. Северин* // Датчики и системы. – 2002. – № 1. – С. 48–51.

3. *Северин, В.А.* Имитационное моделирование процедуры нейросетевой идентификации двумерного радиолокационного сигнала // *В.А. Северин, А.А. Кузнецов, М.Ю. Михеев, И.Ю. Семочкина* // Вопросы радиоэлектроники. – 2009. – С. 115–120.

**(Прочие публикации по теме диссертации)**

4. **Северин, В.А. Статистический анализ и принятие решений для системы измерения интегральных параметров воздушной обстановки / О.Л. Пархоменко, В.А. Северин, И.В. Урнев //** Логико-алгебраические методы, модели и прикладные применения: Труды международной конференции “Континуальные логико-алгебраические исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике – Клин-2001” – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – Т.3. – С. 43–45.

5. **Северин, В.А. Синтез двумерных весовых функций для измерения интегральных параметров воздушной обстановки / М.Ю. Михеев, В.А. Северин //** Логико-алгебраические методы, модели и прикладные применения: Труды международной конференции “Континуальные логико-алгебраические исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике – Клин-2001” – Ульяновск: УлГТУ, 2001. – Т. 3. – С.46–47.

6. **Северин, В.А. Статистические алгоритмы измерения интегральных параметров воздушной обстановки / М.Ю. Михеев, В.А. Северин, И.Ю. Семочкина //** Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза: Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2001. – С. 319–320.

7. **Северин, В.А. Обеспечение устойчивости измерения интегральных параметров воздушной обстановки / М.Ю. Михеев, В.А. Северин, И.Ю. Семочкина //** Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза: Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2001. – С. 320–321.

8. **Северин, В.А. Встраиваемый аппаратно-программный комплекс для измерения интегральных параметров воздушной обстановки / О.Л. Пархоменко, В.А. Северин, И.В. Урнев //** Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза: Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2001. – С. 443–444.

9. **Северин, В.А. Статистический анализ в системах измерения интегральных параметров воздушной обстановки / М.Ю. Михеев, В.А. Северин, И.Ю. Семочкина //** Методы и средства измерений. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции – Нижний Новгород: МВВО АТН РФ, 2001. – С. 14.

10. **Северин, В.А. Измерение интегральных параметров воздушной обстановки // М.Ю. Михеев, В.А. Северин, И.Ю. Семочкина //** Методы и средства измерений. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции – Нижний Новгород: МВВО АТН РФ, 2001. – С. 15.

11. **Северин, В.А. Оптимальная фильтрация импульсных сигналов при наличии помех / М.Ю. Михеев, В.А. Северин //** Датчики систем измерения, контроля и управления: Труды университета. – Пенза, 2001. – С. 101–102.

12. **Северин, В.А. Регистрация реальных сигналов от радиолокационных станций / В.А. Северин //** Современные информационные технологии: Труды международной научно-технической конференции. – Т. 2. – Пен-

за, 2002. – С. 15–17.

13. *Северин, В.А.* Программный генератор файлов дискретных сигналов от радиолокационных станций кругового обзора // Методы и средства измерений: Материалы V заочной Всероссийской научно-технической конференции. – Н.Новгород: МВВО АТН РФ. – 2002. – С. 29–30.

14. *Северин, В.А.* Математическая модель дискретного сигнала от радиолокационных станций кругового обзора / В.А. Северин // Труды международной конференции “Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике”. – Ульяновск, 2002. – Т. 4. – С. 71–73.

15. *Северин, В.А.* Цифровая фильтрация помех, обусловленных отражениями от земной поверхности и местных предметов / О.Л. Пархоменко, В.А. Северин // Надежность и качество: Труды международного симпозиума. – Пенза: Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2002. – С. 353–354.

16. *Северин, В.А.* Встраиваемый аппаратно-программный комплекс для модернизации боевой машины “Оса” / О.Л. Пархоменко, В.А. Северин // Повышение эффективности и боевых возможностей группировок войск ПВО в операциях на стратегическом направлении: Сборник материалов Девятой военно-научной конференции. Ч. 1. – Смоленск: изд-во ВУ ПВО ВС РФ, 2002. – С. 123–124.

17. *Северин, В.А.* Интеграция существующих средств измерения интегральных параметров воздушной обстановки в современные АСУ / В.А. Северин // Повышение эффективности и боевых возможностей группировок войск ПВО в операциях на стратегическом направлении: Сборник материалов Девятой военно-научной конференции. Ч.2. – Смоленск: Изд-во ВУ ПВО ВС РФ, 2002. – С. 24–26.

18. *Северин, В.А.* Обработка радиолокационных сигналов, пораженных помехами, обусловленными отражениями от земной поверхности и местных предметов / О.Л. Пархоменко, В.А. Северин // Датчики систем измерения, контроля и управления: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза, 2002. – С. 28.

19. *Северин, В.А.* Измерение интегральных параметров воздушной обстановки // О.Л. Пархоменко, В.А. Северин, А.Д. Васильев // Методы и средства измерения в системах контроля и управления: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза, 2002. – С. 21–23.

20. *Северин, В.А.* Точное выделение информативной составляющей сигнала на фоне неинформативной от комплексного объекта измерений // В.А. Северин, М.Ю. Михеев // Информационные технологии в науке, проектировании и производстве. Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции – Н.Новгород: НГТУ, 2004. – С. 4–6.

21. *Северин, В.А.* Территориально распределенные системы анализа интегральных параметров воздушной обстановки // В.А. Северин, М.Ю. Михеев, И.Ю. Семочкина // Радиовысотометрия–2010: Сборник трудов III Все-

российской научно-технической конференции. – Каменск-Уральский, 2010. – С. 329–331.

22. Патент № 2219586 РФ. **Автоматизированное рабочее место оператора управления воздушным движением** / Северин В.А., Васильев А.Д., Пархоменко О.Л., Фролов В.Н., Филатов Н.Ф., Федярин В.В. – № 2001128653; заявл. 23.10.2001; опубл. 20.12.2003, Бюл. № 35.

23. Патент № 2236666 РФ. **Аппаратура приема и реализации целеуказания** / Северин В.А., Егоров О.Г., Пархоменко О.Л., Боровков В.Г., Лузан В.А., Новосельцев О.Ф., Духовников В.В., Тегель С.А., Урнев И.В. – № 2002126017; заявл. 30.09.2002; опубл. 20.09.2004. – Бюл. № 26.

24. Патент № 23998 РФ. **Автоматизированное рабочее место оператора управления воздушным движением** / Северин В.А., Васильев А.Д., Пархоменко О.Л., Фролов В.Н., Филатов Н.Ф., Федярин В.В. – № 2001128364; заявл. 23.10.2001; опубл. 20.07.2002, Бюл. № 20.

25. Патент № 28402 РФ. **Аппаратура приема и реализации целеуказания** / Северин В.А., Пархоменко О.Л., Егоров О.Г., Боровков В.Г., Лузан В.А., Новосельцев О.Ф., Духовников В.В., Тегель С.А., Урнев И.В. – № 2002126145/20; заявл. 30.09.2002; опубл. 20.03.2003, Бюл. № 8.

26. Патент № 59858 РФ. **Модуль планирования** / Северин В.А., Безяев В.С., Васильев А.Д., Пархоменко О.Л., Губарьков И.С., Козлов И.Л., Коновалова М.Я., Логунова Т.Н. – № 2006134219; заявл. 25.09.2006; опубл. 27.12.2006, Бюл. № 36.

Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 28.11.2011. Формат 60x84  $\frac{1}{16}$   
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.  
Усл. печ. л. 1,33. Уч.-изд. л. 1,35. Заказ № 2104. Тираж 100.

---

Пензенская государственная технологическая академия.  
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1<sup>а</sup>/11.