

Киевский международный университет  
гражданской авиации

На правах рукописи  
УДК 621.391:519.27

СОЛЕНОВ Владимир Ильич



ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ  
И ПЕРЕДАЧИ СЛУЖЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ  
ПО ЗАНЯТЫМ КАНАЛАМ

Специальность 05.13.04  
"Автоматизированные системы управления  
и системы обработки информации"

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Киев 1997

ДВ. 38. 079

*Работа выполнена* в Московском государственном техническом университете (МГТУ) им. Н.Э.Баумана и Государственной академии сферы быта и услуг (ГАСБУ)

*Научные консультанты:*

доктор технических наук, профессор А.Я.Белецкий,  
доктор технических наук, профессор О.И.Шелухин.

*Официальные оппоненты:*

заслуженный деятель науки и техники Украины,  
лауреат Государственной премии Украины,  
доктор технических наук, профессор В.А.Игнатов,  
доктор технических наук, профессор И.И. Заруднев,  
доктор технических наук, профессор Л.Н. Щербак.

*Ведущая организация* - Научно-исследовательский институт Точных приборов (г. Москва, Россия)

*Защита состоится* 1 июля 1997года, в 10 часов на заседании специализированного совета Д01.35.01 при Киевском международном университете гражданской авиации по адресу:

252058, Киев-58, ГСП, проспект Космонавта Комарова, 1, КМУГА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 30 мая 1997 года.

Ученый секретарь  
профессор

Р.А. Шевченко

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00751154 (N)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Проблемы электромагнитной совместимости и защиты передаваемой информации в системах связи, а также постоянная тенденция их усложнения заставляют многих разработчиков сосредоточить основное внимание на повышении достоверности сообщений, надежности и конфиденциальности их доставки. Современные сети передачи информации инициируют разработку ряда новых систем связи, в том числе предусматривающих передачу служебных сообщений. Примерами тому могут быть:

- единая автоматическая сеть связи (ЕАСС), базирующаяся на концепции универсального канала тональных частот;

- системы спутниковой радиосвязи, в том числе "Инмарсат", которые обеспечивают передачу информации для управления судами, телефонную связь, передачу метеорологической информации, специальные сообщения для обеспечения безопасности кораблей и экипажей и др.;

- системы электронной почты ("Телефакс", КуФАКС, "Диалком", "Видеотекст" и др.).

Насыщенность каналов в эфире заставляет строго регламентировать участки радиодиапазона, отводимые для тех или иных целей. Однако, несмотря на жесткий регламент, взаимные помехи различных радиоканалов становятся препятствием, все более трудно преодолимым. Возникает потребность более рационального использования уже занятых каналов связи.

Исследование и изучение новых видов связи, объединенных термином "телематика", производится под эгидой Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии (МККТТ) и Международного консультативного комитета по радиосвязи (МККР).

Методология защиты радиоэлектронных средств различного назначения от помех является одной из важнейших задач, над которой

работают многие школы ученых: А.Я. Белецкого, Л.Е. Варакина, А.А. Горячева, А.Г. Зюко, В.А. Иванова, В.А. Игнатова, Л.Я. Ильницкого, А.Д. Князева, Э.А. Корнильева, Б.Г. Марченка, А.А. Пирогова, И.Б. Федорова, А.А. Харкевича, О.И. Шелухина и др.

В задачах повышения эффективности сложных систем связи приоритетными являются не только оценки, но и разработка методов рационального построения каналов связи с использованием специальных сигналов, распределенных во времени или на разных частотах по псевдослучайному закону, известному только корреспонденту, так называемых шумоподобных сигналов (ШПС). Применение этих сигналов позволяет получить новые весьма высокие стандарты качества и надежности работы информационных каналов.

*Изложенные выше обстоятельства требуют решения важной народнохозяйственной научно-технической проблемы разработки теории и методов реализации нового класса систем автоматизированной обработки и передачи служебной информации по занятым каналам связи, обеспечивающих существенный выигрыш в достоверности сообщений, в том числе и при воздействии сильно коррелированных негауссовских помех. Сложность этих задач усугубляется тем, что с целью повышения экономической эффективности разработки целесообразно использовать наиболее распространенные и доступные каналы связи, в первую очередь, – телефонные.*

**Цель работы** заключается в разработке и реализации научно-обоснованных принципов построения систем передачи служебных сообщений в автоматизированных системах управления и связи, обеспечивающих рациональное использование имеющихся каналов передачи информации. Указанная цель достигается путем решения таких **основных задач научного исследования**:

1. Экспликация понятий "служебная информация" и "занятый канал связи". Определение их общих свойств, структуры и функций.

2. Оценка помеховой ситуации при передаче служебной информации по занятому каналу связи.

3. Теоретический анализ и экспериментальное исследование статистических характеристик помех и факторов, оказывающих мешающее воздействие на работу системы передачи служебных сообщений.

4. Оптимизация решений при выборе метода и типа сигналов для передачи служебной информации.

5. Определение энергетических соотношений основного и дополнительного сигналов (служебной информации и фонового потока).

6. Оптимизация параметров несущей частоты как переносчика информации.

7. Разработка способа выделения сигнала на фоне помех и синтез алгоритмов его фильтрации.

8. Синтез структуры тракта автоматизированной адаптивной обработки служебных сигналов приемной стороной системы.

9. Разработка принципов управления эффективностью функционирования системы передачи служебных сообщений.

**Математический аппарат и методы исследований.** Для решения поставленных задач в работе использованы методы и аппарат математической статистики, теории оптимального приема, нелинейной фильтрации, марковских процессов, теории обнаружения скачкообразного изменения свойств случайных процессов, статистической теории оценивания и проверки гипотез.

Методологическую основу исследований составили принцип подобия распределений при выборе решающих правил и байесовский подход в решении задач с априорной неопределенностью.

**Научная новизна работы** состоит в том, что в ней впервые:

1. На основании анализа проблемы рационального использования частотного ресурса имеющихся каналов связи обоснованы и

определены приоритетные направления исследования возможности их уплотнения с целью передачи служебных сигналов.

2. Исследованы статистические характеристики дестабилизирующих факторов и помех в занятых каналах связи и их влияние на эффективность функционирования трактов передачи служебных сигналов.

3. Разработаны оптимальные и квазиоптимальные алгоритмы выделения служебных сигналов и восстановления их параметров при приеме на фоне коррелированных негауссовских помех в условиях частичной априорной неопределенности, а также их структуры.

4. Синтезированы рекуррентные алгоритмы обнаружения служебных сигналов в условиях частичной априорной неопределенности, основанные на положениях теории нелинейной марковской фильтрации.

5. Определены решающие правила и критерии оценки эффективности синтезированных алгоритмов автоматизированной обработки служебных сигналов.

6. Разработана теория формирования псевдослучайных последовательностей, обеспечивающих повышение качества передачи и приема служебных сигналов по занятым каналам связи.

7. Определены принципы реализации нового поколения адаптивных трактов автоматизированной обработки служебных сигналов, передаваемых с помощью псевдослучайных последовательностей.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что:

1. Проведено теоретическое обоснование методов обработки служебных сообщений для их передачи по занятым каналам связи, а также созданы на их основе алгоритмы адаптивной обработки сигналов и аппаратура для передачи служебных сообщений в автоматизированных системах связи и управления.

2. На основе теории нелинейной марковской фильтрации разработаны и внедрены методика и нелинейные рекуррентные алгоритмы обработки служебных сообщений для их выделения на фоне негауссовских коррелированных помех.

3. Разработаны оптимальные и квазиоптимальные адаптивные алгоритмы обработки при приеме служебных сообщений в условиях априорной неопределенности относительно статистических характеристик помех, действующих в занятых каналах связи.

4. Разработаны методы формирования сигнальных псевдослучайных последовательностей, обеспечивающие ускоренный ввод систем передачи служебных сообщений в синхронизм. Исследованы их свойства, позволяющие повысить достоверность передачи информации.

5. Разработаны и внедрены методики оценки мешающего влияния речевого сигнала на передачу служебных сообщений с помощью псевдослучайных последовательностей с учетом характеристик реальных каналов связи.

**На защиту выносятся** следующие основные положения работы:

-- основы теории построения систем передачи и автоматизированной обработки служебных сообщений при передаче по занятым каналам связи в условиях негауссовского характера информационных сигналов и помех;

-- способы и результаты текущей идентификации статистических характеристик негауссовских процессов в условиях параметрической априорной неопределенности;

-- принципы построения технических средств передачи служебных сообщений с помощью псевдослучайных последовательностей сигналов, а также результаты технической реализации разработанных методов;

-- результаты моделирования и экспериментальных исследований эффективности функционирования систем передачи служеб-

ных сообщений по занятым каналам в системах связи и автоматического управления.

### ***Внедрение результатов работы***

Результаты работы внедрены в научно-исследовательском институте Точных приборов в МГТУ им. Н.Э. Баумана (г. Москва, Россия) и в учебные курсы "Многоканальные системы связи", "Радиотехнические системы управления" МГТУ им. Н.Э. Баумана

По результатам работы автором написаны девять учебных пособий.

***Апробация работы.*** Результаты выполненных исследований докладывались и получили положительную оценку на 20 международных, всесоюзных, республиканских научно-технических конференциях и сессиях, в том числе: XXXI Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио (Москва, 1976); XXVI научная конференция (Улан-Уде, 1987); "Опыт разработки и внедрения фильтров и корректоров в аналоговые и цифровые системы передачи" (Одесса, 1988); "Статистический синтез и анализ информационных систем" (Ульяновск, 1989); "Проблемы совершенствования систем аэронавигационного обслуживания и управления подвижными объектами" (Киев, 1996); "Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов" (Киев, 1992).

***Публикации.*** Материалы, отражающие основное содержание работы, опубликованы в 134 работах, в том числе в пяти монографиях. Часть результатов отражена в отчетах по научно-исследовательским работам, выполненным под руководством и при участии автора.

***Структура и объем работы.*** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Она содержит 292 страницы текста, в том числе 77 иллюстраций и восемь таблиц. Список литературы включает 163 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** сформулирована проблема исследования, обоснована ее актуальность, определены цель работы и круг решаемых задач, указана ее практическая значимость и научная новизна.

**В первом разделе** рассмотрены статистические модели сигналов и помех в каналах связи.

Основными сигналами, передаваемыми по телефонным каналам, являются речевые непрерывные сигналы либо сигналы данных, как правило, имеющие негауссовский характер.

Для большинства случаев передачи служебных сигналов можно указать два наиболее типичных варианта их использования.

В первом варианте назначением служебных сигналов, в том числе сигналов взаимодействия, является передача информации о необходимости изменения состояния (переключения) элементов аппаратуры связи. В этом случае время между посылкой сигнала и исполнением команды должно быть минимальным.

Во втором — передача сигналов взаимодействия служит для подтверждения состояния объекта; приемник сигнала взаимодействия должен лишь периодически подтверждать состояния объекта.

Количество передаваемой сигналом взаимодействия информации мало и не требует широкой полосы пропускания канала.

Однако, передача сигналов взаимодействия в полосе частот, где сосредоточен спектр речевого сигнала, не должна приводить к уменьшению разборчивости речи и, по возможности, не воспринимается абонентом.

Отмеченные обстоятельства предполагают возможность выделения узкой полосы частот в спектре телефонного канала для передачи сигналов взаимодействия и использование фильтрового разделения каналов.

Именно такой метод реализован в существующей аппаратуре. Однако ему присущ ряд недостатков.

Речевой сигнал отличается сложной структурой, широким диапазоном изменения текущего спектра и большой вероятностью появления мощных гармонических составляющих в полосе частот, выделенной для передачи сигнала взаимодействия. Во время воздействия такой помехи значительно увеличиваются вероятности подавления сигналов взаимодействия –  $P_n$  или его ложного опознавания –  $P_{Л}$ .

Узкополосный тракт приема сигнала взаимодействия обладает значительной инерционностью и возбуждение его мощной помехой увеличивает интервал времени ненадежного обнаружения сигнала. Аналогичное воздействие оказывают импульсные помехи, обладающие широким спектром частотных составляющих.

Показано также, что основная доля энергии речевого сигнала приходится на локализованные участки, на которых сигнал

$$u(t) = \sum_{i=1}^k A_i e^{-a_i t} \cos(\omega_i t + \theta_i),$$

где  $\omega_i$  соответствуют формантным частотам, и для полосы канала оперативной технологической связи (ОТС) от 0 до 2,4 кГц можно положить  $k \leq 2$ .

И хотя значения их в конкретный момент времени могут быть разными, в дальнейшем будем полагать, что на интервале передачи сигнала взаимодействия это значение постоянно и для этого сигнала речевое сообщение можно рассматривать как сосредоточенную по частоте помеху со случайной частотой.

Таким образом, возникает проблема передачи сигналов взаимодействия в канале с шириной полосы частот, которая значительно превосходит ширину полосы, требуемую для передачи штатной информации, в условиях воздействия гладких шумов и мощно сосредоточенной по спектру помехи.

Именно для таких условий рассматривается возможность использования (ШПС) с распределенным спектром.

Широкополосные сигналы позволяют получить выигрыш в помехоустойчивости в результате последовательного применения операций расширения спектра при их передаче и сжатия полосы частот сигнала во время его обработки в приемнике.

Сжатие полосы осуществляется путем корреляционной обработки принимаемого сигнала на основе информации о его фазе и структуре (с использованием опорного синхронизирующего сигнала).

В последнее время системы с такими сигналами привлекают все большее внимание, особенно при необходимости передачи информации в условиях присутствия сосредоточенных помех.

В работе получены оценки, позволяющие сделать вывод о возможности организации достаточно достоверного приема сигналов при воздействии сосредоточенной помехи, мощность которой на десятки децибелл больше мощности сигнала.

Расширение спектра передаваемых сигналов может осуществляться при использовании различных видов модуляции, среди которых можно выделить два основных:

-- модуляция несущей частоты дискретной последовательностью с частотой следования символов, во много раз превосходящей ширину полосы пропускания информационного канала (с одночастотным псевдослучайным сигналом);

-- модуляция путем изменения частоты несущей в дискретные моменты времени на некоторую величину, значение которой задается кодовой последовательностью (со скачками частоты (ССЧ)).

Исследованию возможности использования таких ШПС для передачи служебных сигналов и посвящена данная работа.

Применение ШПС с относительно низким уровнем мощности для передачи служебных сигналов на фоне речевого сигнала позво-

ляет также обеспечить их хорошую маскировку штатным сигналом и собственными шумами канала связи.

В связи с этим в диссертационной работе основное внимание уделено синтезу и анализу алгоритмов и аппаратуры, позволяющей проводить экспериментальные исследования некоторых вариантов систем связи с ШПС при изменении параметров сигналов, а также использованию этой аппаратуры для исследования характеристик речевого сигнала.

В результате анализа характеристик речевых сигналов каналов ОТС получены сведения, необходимые для обоснованного выбора параметров ШПС.

*Во втором разделе* рассмотрены способы построения систем передачи служебной информации по занятым каналам.

Последовательность ШПС с использованием фазовой манипуляции

$$S(t) = A \cdot d(t) \cdot p(t) \cdot \cos \omega_0 t,$$

где  $A$  — постоянная амплитуда несущей;  
 $d(t)$  — модуляционный параметр, принимающий значения  $+1$  или  $-1$  на интервале  $T$ , численно равном времени передачи одной посылки;  
 $p(t)$  — псевдослучайная последовательность со значениями элементов  $\pm 1$ .

Помеха  $N(t)$  представляет собой белый гауссовский шум с уровнем спектральной плотности мощности  $\eta_0/2$ , а интерференционная помеха

$$I(t) = \sum_{i=1}^K \lambda_i \cos(\omega_i t + \theta_i),$$

где  $K$  — число гармонических составляющих помехи;  
 $\lambda_i$ ,  $\omega_i$ ,  $\theta_i$  — соответственно амплитуда, частота и фаза гармонических

составляющих помехи, причем фаза  $\theta_i$  равномерно распределена в пределах от 0 до  $2\pi$ .

На основании проведенного анализа для ненулевого порога обнаружения  $\gamma$  получено выражение для условной вероятности ошибки:

$$P(e|\theta) = Y \left( - \frac{(1-x) - \frac{1}{L} \sqrt{\frac{Y}{S}} \cos \theta}{\left[ \eta_0 \left( 2E + \frac{Y}{S} \cdot \frac{1}{M} \left( 1 - \frac{1}{L} \right) \cos^2 \theta \right) \right]^{1/2}} \right),$$

где  $x = \frac{\gamma}{AT}$  -- порог обнаружения в долях  $AT$ ;

$$Y = \frac{\lambda^2}{2} \text{ -- средняя мощность помехи;}$$

$$S = \frac{A^2}{2} \text{ -- средняя мощность сигнала;}$$

$$E = \frac{A^2 T}{2} \text{ -- средняя энергия сигнала.}$$

Безусловная вероятность ошибки при приеме сигнала

$$P_c = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P(e|\theta) d\theta.$$

На основании полученных выражений проведены расчеты вероятности подавления служебного сигнала взаимодействия  $P_n$  в случае, если он используется как подтверждающий для некоторого состояния устройств тракта ОТС, или как сигнал контроля целостности канала.

Расчеты показывают, что можно обеспечить достаточно низкую вероятность подавления сигнала взаимодействия.

В работе отмечено, что малые длины псевдослучайной последовательности (ПСП) выгодны как из-за простоты схемной

реализации, так и с точки зрения согласования со структурой речевого сигнала.

В процессе передачи речевого сигнала имеют место кратковременные паузы даже в течение интервала времени произнесения одного слова. В частности, такая пауза длительностью 50...150 мс возникает перед произнесением согласных глухих звуков.

При наличии паузы резко снижается отношение  $Y/S$  и при целых  $L$ , повышается вероятность правильного обнаружения одного или нескольких сигналов ПСП. Однако слишком малые длины  $L$  могут не обеспечить допустимую вероятность ложного приема.

Передача ШПС ниже уровня шума на 5 дБ обеспечивает его достаточную маскировку и не вызывает дополнительных дискомфортных ощущений у абонента.

Результаты расчетов ложного обнаружения  $P_n$  сигналов в зависимости от порога обнаружения показали, что в большинстве случаев целесообразно выбрать значение порога  $x=0,75$ .

Расчет вероятности ложного приема  $d(x)=-1$  при передаче  $d(x)=+1$ , проведенный для значений порога  $x=0,75$ , показал, что при  $L=0,75$  и  $2E/\eta_0 = 9$  дБ  $P_o = P_n = 3 \cdot 10^{-5}$ , что отвечает требованиям, сформулированным в работе. При этом вероятность подавления служебного сигнала составляет  $P_n = 4,15 \cdot 10^{-5}$ , так что имеется значительный запас помехоустойчивости.

Однако следует учитывать, что расчетные выражения получены для идеальных условий – когерентной несущей и тактовой синхронизации.

В реальных условиях с целью упрощения приемника приходится отказываться от тактовой синхронизации, потому что выделение несущей в условиях сильных помех также будет приводить к снижению помехоустойчивости. Анализ показывает, что

возможное снижение достоверности передачи информации составляет приблизительно 5..8 дБ.

Для рассмотренного случая использования ШПС в качестве сигнала, подтверждающего состояние объекта при посылке сигнала, требующего изменения состояния объекта (включение), время обработки  $T_{об}$  составит менее 60 мкс.

Для уменьшения вероятности подавления служебного сигнала предложено использовать кратковременное повышение уровня ШП при изменении модулирующего параметра.

Таким образом, проведенный анализ показывает возможность использования последовательности ШПС для передачи служебных сигналов в полосе частот, расположенной в пределах сосредоточения спектральных составляющих передаваемого штатного сигнала.

Практическое решение задачи связано с выбором оптимальных значений параметров несущей и скорости ее модуляции с учетом характеристик речевого сообщения в трактах ОТС.

С целью выяснения влияния ШПС на разборчивость и изменение уровня помех при изменении частоты несущей сигнала с фазовой модуляцией (ФМ), его уровня и относительной ширины спектра учтены реальные характеристики электроакустических преобразователей.

**В третьем разделе** рассмотрены алгоритмы автоматизированной обработки и нелинейной фильтрации сигналов на фоне негауссовских помех.

В разделе рассмотрены решения задач синтеза и анализа оптимальных и квазиоптимальных устройств оценки параметров сигнала на фоне негауссовских помех.

В работах, посвященных оценке параметров сигнала, наблюдаемого в смеси с негауссовским шумом, получены алгоритмы нелинейной фильтрации, основывающиеся на представлении помехи многосвязным

марковским процессом. Таким алгоритмам соответствуют устройства оценки (следающие и многоканальные) двух видов: с фильтрацией помехи и с безынерционным нелинейным преобразованием наблюдаемой смеси перед подачей на типовой дискриминатор.

Оценки, формируемые на основе этих алгоритмов, приближаются к эффективным.

Алгоритмы с фильтрацией помехи предполагают измерение ее параметров с последующей компенсацией помехи. Это приводит к структурной избыточности устройства оценки параметров сигнала.

Алгоритм с безынерционным нелинейным преобразованием (НП) входной смеси предполагает высокую апостериорную точность измерения, наличие перед НП компенсатора полезного сигнала опорным с параметрами, являющимися оценками неизвестных параметров сигнала, что особенно важно при большом отношении сигнал-помеха (ОСП) на входе измерителя параметров.

Такой алгоритм оценки, реализуемый в рассмотренном выше устройстве, не обладает избыточностью и принят в данной работе за основу. Он эффективен в ситуации, когда расстройки между измеряемыми параметрами и их оценками настолько малы, что допускают возможность представления апостериорной ПВ параметров сигнала в виде степенного ряда (не выше второй степени).

Реально же (например, в следающих измерителях) указанные расстройки могут достигать больших величин, что приводит к нарушению оптимальности известных алгоритмов оценки.

В связи с этим в разделе рассматриваются как оптимальные в области малых расстроек, так и квазиоптимальные алгоритмы, способные работать при любых расстройках между измеряемыми параметрами и их оценками, при значительном диапазоне ОСП на входе измерителя. После небольшой модификации алгоритмы приобретают свойства

адаптивности и эффективны при изменении вероятностных характеристик помехи.

Синтез алгоритмов проведен отдельно как для широкополосного, так и для полосового трактов обработки сигнала.

Показано, что оптимальный (в смысле максимума функции правдоподобия) измеритель параметров сигнала должен содержать перед дискриминатором компенсатор полезного сигнала опорным, параметры которого определяются в результате оценки измеряемых параметров, и безынерционный блок нелинейного преобразования (БНП), амплитудная характеристика (АХ) которого согласована с плотностью распределения вероятности (ПРВ) помехи или ее огибающей так же, как и в тракте обнаружения слабого сигнала.

Оценки, формируемые таким измерителем, приближаются к эффективным только в ситуации, когда расстройки между измеряемыми параметрами и их значения малы.

Для случая больших расстроек предложены квазиоптимальные устройства оценки параметров, минимизирующие величину обобщенной среднеквадратической ошибки (ОСКО), представляющей собой усредненную по времени и по множеству реализаций помехи сумму  $m$  (по числу оцениваемых параметров) квадратов отклонений сигналов ошибки дискриминатора от заданных фиксированных уровней.

Предложенные устройства оценки можно разделить на две основные группы.

К первой группе относятся дискриминаторы, структурно совпадающие с оптимальными по критерию максимума функции правдоподобия, оптимизированные по критерию минимума ОСКО.

Ко второй – дискриминаторы с оптимальными по критерию минимума ОСКО БНП в каждом канале устройства оценки.

Показано, что форма оптимальных АХ БНП зависит от вида одномерной ПРВ помехи (в случае широкополосного тракта обработки) или двумерной ПРВ квадратур помехи (в случае полосового тракта обработки), от характеристик сигнала и от величины расстройки между измеряемыми параметрами и их оценками.

Проведены численные расчеты с целью определения оптимальных АХ БНП и показателей подавления помехи для амплитудного и фазового дискриминаторов параметров гармонического сигнала, наблюдаемого на фоне широкополосной помехи импульсного характера или синусоидального типа.

Алгоритмы оптимального обнаружения слабых сигналов в литературе, как правило, рассматриваются в предположении, что помеха является стационарной с известной ПРВ мгновенных значений помехи или огибающей.

В реальной помеховой обстановке это предположение не выполняется, поэтому предложено нелинейную обработку сделать адаптивной, согласованной с вероятностными характеристиками действующей помехи.

Необходимость в адаптивной нелинейной обработке при оценке параметров принимаемых сигналов с минимальной ОСКО продиктована также чувствительностью оптимальных АХ БНП к величине текущей расстройки между измеряемыми параметрами и их оценками, которая априорно неизвестна и может изменяться с течением времени.

В разделе рассматриваются алгоритмы адаптивной нелинейной обработки, синтезированные по выбранным критериям качества подавления помехи. Эти алгоритмы реализованы в адаптивных нелинейных преобразователях, являющихся устройствами автоматического регулирования с прямой и обратной связью.

Адаптивные блоки нелинейного преобразования (АБНП) с прямой связью (ПС) основываются на аппроксимации ПРВ помехи (при этом используется связь ПРВ с оптимальной АХ) или оптимальной АХ БНП математической моделью, параметры которой функционально определяются характеристиками помехи.

Настройка АБНП проводится в соответствии с параметрами модели.

Для построения АБНП с ПС, основанных на аппроксимации ПРВ помехи, предложены алгоритмы оценки параметров двух видов: для линейной модели ПРВ, представленной в виде обобщенного полинома (разложения в ряд по линейно независимым функциям), а также для нелинейных моделей обобщенного гауссовского и полигауссовского распределений.

Получены расчетные соотношения, позволяющие для БНП с АХ в виде обобщенного полинома определить значения оптимальных параметров настройки и величину соответствующего им максимального коэффициента подавления помехи.

В условиях действия нестационарной помехи с изменяющейся во времени ПРВ эффективность подавления помехи в АБНП с ПС, реализующих предлагаемые алгоритмы адаптивной нелинейной обработки, такая же, как и при оценке действия стационарной помехи с ПРВ, полученной усреднением ПРВ исходной нестационарной помехи за время измерения ее числовых характеристик.

В АБНП с ПС не используется информация о степени подавления помехи. Следовательно, должны предъявляться жесткие требования к точности и стабильности операционных элементов, что реализуется с помощью прецизионных аналоговых или цифровых устройств.

С целью повышения стабильности характеристик канала обработки сигнала разработаны алгоритмы адаптивной нелинейной обра-

ботки, в которых используется обратная связь (ОС) и не требуется применение прецизионных операционных элементов.

Задачей АБНП с ОС является достижение максимума коэффициента подавления помехи и непрерывное поддержание его на этом уровне при изменении вероятностных характеристик помехи, а также наличии внешних возмущений (колебания температуры, нестабильность питающих напряжений, старение операционных элементов). АБНП с ОС содержит дискриминатор, вырабатывающий сигнал ошибки, вызванный неточностью настройки БНП на максимум подавления помехи. Объектом управления в канале обработки является собственно нелинейный подавитель и сглаживающая цепь.

В работе рассмотрены три типа АБНП с ОС.

К первому отнесены АБНП, использующие вероятностные итерационные алгоритмы. В основу их работы положено применение некоторой целевой функции, зависящей от параметров настройки БНП, координаты оптимальной точки которой в пространстве параметров совпадают с координатами экстремума коэффициента подавления помехи. Реализация такого АБНП предусматривает осуществление процедуры измерения первых и вторых смешанных частных производных от целевой функции по параметрам настройки.

При недифференцируемой по параметрам настройки целевой функции необходимо применять второй тип АБНП с ОС, в состав которого входят: измеритель показателя подавления помехи, экстремальный регулятор, реализующий поисковый алгоритм определения координат экстремума целевой функции, и собственно нелинейный подавитель помех.

Предложен алгоритм измерения реального показателя подавления помехи в БНП с произвольной АХ, предусматривающий использование измерительного пилот-сигнала.

Определены и приведены условия, при которых оценка коэффициента подавления помехи с помощью предложенного измерительного алгоритма является состоятельной (внеполосность пилот-сигнала и малое ОСП на входе БНП), а также результаты его экспериментальной проверки на гауссовском шуме и сравнения их с расчетными.

Рассмотрены три поисковых алгоритма работы экстремального регулятора и получено по множеству реализаций для одного из них методом цифрового моделирования (в зависимости от времени адаптации) значение усредненного показателя подавления полигауссовской помехи. АБНП выполнен на базе ограничителя с регулируемой шириной линейного участка и измерителя коэффициента подавления помехи.

К третьему типу отнесены АБНП с АХ, описываемой обобщенным полиномом. Их следует применять в том случае, когда диапазон изменения параметров настройки БНП ограничен. В качестве поисковой следящей системы предлагается использовать АБНП с управляемым квадратурным генератором (КГ). Проведен анализ работы управляемого КГ, который показал, что гиперповерхность поиска, реализуемая им, определяется ограничениями динамического диапазона в собственно нелинейном подавителе и в КГ, и может иметь произвольную форму (гиперкуб, гиперсфера, гипероктаэдр).

Рассмотренные в разделе алгоритмы адаптивной нелинейной обработки, реализуемые с помощью АБНП с прямой и обратной связью, предназначены для использования в тракте обнаружения слабых служебных сигналов на фоне негауссовских помех.

В задачах выделения сигнала на фоне негауссовских помех и оценки его параметров, для которых характерным является большое ОСП на входе устройства обработки, предлагается использовать другие критерии качества подавления помех: критерий минимума среднего

квадрата ошибки (СКО) выделения сигнала на фоне негауссовских помех и критерий минимума обобщенного среднеквадратического отклонения сигналов ошибки многоканального (в общем случае) дискриминатора от заданных фиксированных уровней.

**В четвертом разделе** анализируются методы ускоренного ввода системы передачи информации в синхронизм.

Синхронизирующие свойства последовательностей в основном определяются видом их корреляционной функции.

Анализ корреляционных свойств составных последовательностей показал, что с увеличением длин  $L_1$  и  $L_2$  периодическая корреляционная функция по своему виду приближается к периодической корреляционной функции  $M$ -последовательности. Поэтому такие составные последовательности не обеспечивают возможность ускоренного ввода системы обработки в синхронизм.

Лучшими синхронизирующими свойствами обладают нелинейные последовательности  $\{x_j\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, L_{\text{комб}}$ , получаемые путем соответствующего комбинирования  $K$  коротких последовательностей  $\{y_{j,1}\}, \{y_{j,2}\}, \dots, \{y_{j,i}\}, \dots, \{y_{j,k}\}$  с длинами соответственно  $L_1, L_2, \dots, L_k$ .

При правильном выборе составляющих последовательностей  $\{y_{j,1}\}, \{y_{j,2}\}, \dots, \{y_{j,i}\}, \dots, \{y_{j,k}\}$  и способа их комбинирования (логической функции) длина образуемой последовательности

$$L_{\text{комб}} = \prod_{i=1}^K L_i,$$

а коэффициент взаимной корреляции комбинированной последовательности  $\{x_j\}$  с любой из последовательностей  $\{y_{j,i}\}$   $i=1, \dots, K$  будет резко возрастать при значениях  $t$ , кратных периоду  $L_i$  составляющей последовательности  $\{y_{j,i}\}$ . При других  $t$  коэффициент взаимной корреляции будет иметь одинаковые значения, существенно меньшие, чем при  $t=mL_i$ ,  $m=1, 2, \dots$ .

Как доказано в работе, такие комбинированные последовательности обеспечивают возможность значительно ускорить процесс ввода системы в синхронизм.

Для их нахождения рассмотрены различные способы комбинирования.

Из анализа корреляционных свойств рассмотренных комбинированных последовательностей непосредственно вытекает, что лишь последовательности, получаемые на основе мажоритарного принципа комбинирования, позволяют осуществить ускоренный ввод в синхронизм. Он обеспечивается путем сравнения и поочередного достижения максимума взаимной корреляции каждой из компонент, участвующих в передаче комбинированной последовательности, с принятой последовательностью.

В момент, когда будут достигнуты максимумы коэффициента взаимной корреляции принятой последовательности со всеми компонентами опорной, принятая и опорная последовательности оказываются точно совмещенными во времени.

Наряду с корреляционными функциями важными характеристиками синхросигнала являются спектральные характеристики (амплитудный и энергетический спектры и ширина спектра).

Знание этих характеристик позволяет выбрать параметры компонент комбинированной последовательности таким образом, чтобы искажения синхросигналов при их передаче по телефонному каналу были в пределах нормы, а влияние служебных сигналов на прием регулярной информации было минимальным.

В разделе рассмотрены методы ввода в синхронизм на основе комбинирования последовательностей, обеспечивающих существенный выигрыш во времени по сравнению с обычным способом пошаговой корреляции при одинаковой длине передаваемых последовательностей.



последовательность  $\{x_j\}_{\text{комб}}$  и одна из опорных последовательностей  $\{y_{j,i}\}$ ,  $i=1, 2, \dots, R$ .

Если запаздывание  $\{x_j\}_{\text{комб}}$  окажется кратным периоду этой опорной последовательности, то на выходе корреляционного устройства появится положительное напряжение  $C_{\{x\};\{y_i\}}$ .

Анализирующее устройство в соответствии со знаком и величиной выходного напряжения коррелятора принимает решение о необходимости продолжения поиска.

Если величина  $C_{\{x\};\{y_i\}}$  превосходит некоторый порог, то анализирующее устройство фиксирует совпадение последовательности  $\{x_j\}$  с рассматриваемой опорной последовательностью с точностью до периода последней и осуществляет переключение, обеспечивающее подачу на коррелятор другой опорной последовательности. Поиск продолжается до тех пор, пока все опорные последовательности не окажутся засинхронизированными с входной последовательностью  $\{x_j\}$ .

После входа в синхронизм дальнейшая синхронная связь поддерживается с помощью дискриминатора с задержанной синхронизацией.

В разделе проведен анализ метода ускоренного ввода в синхронизм с обычным пошаговым вводом.

Доказано, что при отсутствии синхронизации по тактовой частоте ускоренный ввод в синхронизм дает выигрыш во времени в 47 раз по сравнению с методом пошаговой корреляции.

Наряду с методом последовательного ввода в синхронизм предлагается также использовать метод параллельного ввода в синхронизм составляющих сигнальных последовательностей.

Для этого необходимо иметь три коррелятора и подавать на каждый из них принятую и одну из составляющих последовательностей.

При этом обеспечивается одновременный ввод всех трех составляющих последовательностей в синхронизм.

Время ввода в синхронизм будет определяться самой длинной составляющей последовательности, и коэффициент ускорения синхронизации

$$K_y = \frac{L_{\text{комб}}}{L_{i \text{ max}}} \left[ \frac{\pi}{2} (R - 1) \right]^2$$

При отсутствии предварительной синхронизации по тактовой частоте параллельный способ ввода в синхронизм не дает выигрыша во времени по сравнению с последовательным способом.

**В пятом разделе** рассматриваются методы программно-аппаратной реализации систем передачи служебных сообщений по занятым каналам.

В каналах ОТС максимальное влияние на ШПС будет оказывать речевой сигнал абонента.

Для оценки степени такого влияния в работе были исследованы спектральные и амплитудные характеристики прошедших через канал связи речевых сигналов различных абонентов.

Для решения поставленной задачи была произведена запись голоса шести абонентов цепи. Запись анализировалась на спецпроцессоре 2T08S японской фирмы SAN – EI.

Спектральный анализ проводился с использованием математического аппарата быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Использовалось также сглаживание полученных в результате аналого-цифрового преобразования данных методом "окна Хемминга".

Проведенные исследования показали, что статистические характеристики спектров обладают достаточной стохастической устойчивостью и пригодны для дальнейшего анализа.

Основная энергия речевого сигнала сосредоточена в полосе от 0,3 до 1,2 кГц, амплитуды спектральных составляющих, имеющих

частоты выше 1,2 кГц значительно (в 10 и более раз) меньше составляющих, лежащих в полосе 0,3...1,2 кГц.

При амплитудном анализе речевого сигнала исследовались функция и плотность распределения вероятностей его мгновенных значений. Построение этих функций проводилось также с помощью спецпроцессора, который, кроме перечисленных функций, вычислял первые четыре момента рассматриваемых распределений.

Из полученных результатов видно, что значительную часть времени (~80 %) мгновенное значение амплитуды речевого сигнала находится в пределах -10...-30 дБ даже в точке с нулевым измерительным уровнем.

Следует также отметить значительную нестационарность процесса изменения мгновенного значения сигнала.

Доказано, что достаточно полной характеристикой, описывающей влияние мешающего сигнала на восприятие речевого сообщения с учетом характеристик акустического тракта, является приведенный уровень звукового давления, создаваемого помехой.

В связи с тем, что длина ПСП и скорость манипуляции ограничены быстродействием приемников и частотными характеристиками канала связи, для анализа мешающего влияния ШПС использовались сигналы с длиной ПСП в 15 элементарных символов, несущей частотой от 0,1 до 3,5 кГц и скоростью манипуляции от одного до 16 периодов несущей частоты на бит элементарной посылки ПСП.

Установлено, что с ростом количества периодов несущей частоты на 1 бит элементарной посылки ПСП результирующая характеристика звукового давления приобретает все более неравномерный вид, на ней появляются четко выраженные максимумы при 1,5 кГц и 2,6 кГц, наименьшее звуковое давление создается при частоте несущей от 0,1 до 0,4 кГц.

Таким образом, использование значений несущей от 0,1 до 0,4 кГц не ухудшает разборчивости речи в тракте ОТС даже при значительном уровне сигнала взаимодействия и может считаться оптимальным.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

В диссертационной работе сформулирована и решена имеющая важное техническое и народнохозяйственное значение научная проблема, заключающаяся в разработке теории и методов реализации нового класса систем передачи и автоматизированной обработки служебных сообщений по занятым каналам связи при воздействии сильно коррелированных негауссовских помех, обеспечивающих энергетический выигрыш и заданную достоверность передачи информации.

Основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования и разработки заключаются в следующем:

1. Сформулированы и обобщены основные направления рационального использования занятых каналов связи как альтернатива экстенсивному использованию частотно-временных ресурсов, с целью повышения экономичности систем связи при малых взаимных помехах.
2. При классификации информационных потоков в системах автоматического управления и связи выделен особый класс сигналов, обеспечивающих передачу служебной информации.
3. Предложена экспликация понятий "занятый канал связи" и "служебное сообщение", сформулированы их общие свойства и функции.
4. Определен тип каналов связи, предпочтительных для передачи выделенного класса служебных сообщений. На основе проведенного автором анализа статистических характеристик речевых сообщений, как основного наполнителя уплотняемого канала связи, показана целесообразность передачи служебной информации с помощью последовательности ШПС в совмещенной полосе частот.

5. Определены способы повышения эффективности передачи служебных сообщений в занятых каналах связи, которые предусматривают использование коротких ПСП, следующих с синлабическими (слоговыми) частотами. Оптимизирована длина ПСП сигналов, что обеспечивает заданную вероятность ложной тревоги.

6. Обоснована необходимость использования мажоритарного принципа принятия решения при автоматизированной обработке служебных сигналов в узкополосном приемном тракте.

7. Предложены и разработаны методы передачи служебных сигналов, использующие адаптивное управление уровнем ШПС, согласованное с параметрами речевого сигнала. Определен допустимый динамический диапазон изменения амплитуды ШПС, обеспечивающий достаточную их маскировку и отсутствие дискомфортных ощущений абонента телефонного канала.

8. Систематизированы проявления аддитивных и мультипликативных негауссовских помех в каналах выделения служебных сигналов. Показано, что разностный алгоритм обработки служебных сигналов обеспечивает достаточную эффективность их выделения при малых значениях коэффициента корреляции.

Для учета мультипликативной составляющей негауссовской помехи требуется усложнение алгоритмов обработки, однако это может обеспечить выигрыш в ОСП около 3дБ, что хорошо согласуется с известными результатами.

9. Сформулирован новый подход к задаче нелинейной обработки служебных сообщений для их выделения на фоне коррелированных негауссовских помех, инвариантный к величине ее коэффициента корреляции.

Синтезированы структуры фильтров, которые используют квазинепрерывное и разностное приближение, обеспечивающие

уменьшение среднеквадратических ошибок фильтрации на 2...4 дБ по сравнению с известными устройствами.

10. Разработаны основные принципы построения устройств демодуляции служебных сигналов:

- квазинепрерывный и разностный подходы требуют организации двухканальных нелинейных структур;

- нелинейность обработки однозначно определяется видом переходной функции плотности распределения вероятности помехи;

- в разностной схеме имеются особенности, вызванные более сложным видом функции правдоподобия;

- при негауссовских коррелированных процессах структура демодулятора должна обеспечивать нелинейное преобразование как текущего, так и предыдущего значения помехи (зафиксированного на предыдущем шаге анализа).

11. Разработан бинарный принцип анализа в процедуре обработки информации, основанный на совместном учете как мгновенного значения, так и огибающей негауссовской помехи, сопутствующей сообщению, что обеспечивает существенное повышение достоверности и надежности выделения сигнала по сравнению с известными методами. На основе этого принципа предложенный метод обработки эффективен в ситуациях, когда помехи занимают более узкую или соизмеримую с обрабатываемым сигналом область спектра частот.

12. Показано, что при оптимизации технико-экономических показателей системы передачи служебных сообщений необходимо учитывать характер помеховой ситуации.

Разработаны методики выбора требований к характеристикам основных звеньев системы, определены решающие правила в оценке статистики помех, а также способы адаптации приемного тракта.

Получены количественные соотношения и показатели эффективности системы передачи служебных сигналов для широкого класса типовых помеховых ситуаций.

13. Сформулированы многоальтернативные пороговые правила обнаружения и выделения служебных сигналов в потоке помех.

Определены структуры трактов обработки сигналов, в состав которых введены устройства нелинейных преобразований (управляемые корректоры амплитудно-частотных характеристик).

Сформулированы требования к амплитудно-частотным и временным характеристикам этих корректоров.

Решающие правила каналов управления согласованы со статистическими параметрами сигналов и помех. Показано, что форма амплитудно-частотной характеристики тракта обработки сигналов находится в определенной связи с одномерной ПРВ помехи (в случае широкополосного тракта обработки) или двумерной ПРВ квадратур помехи (в случае полосового тракта обработки).

14. Обосновано и предложено с целью повышения надежности передачи сообщений ввести в состав тракта обработки информации локальные каналы: канал пилот-сигнала (с контрольной функцией), канал сигналов управления и взаимодействия, обратный канал и др.

Для повышения точности передачи информации предложено использовать вспомогательные сигналы и сообщения, в том числе синхронизирующие сигналы, а также специальные сигналы, позволяющие в месте приема обнаружить и скорректировать ошибки передачи сообщений.

Исследование перечисленных составляющих подтверждает возможность построения единых оптимизированных в смысле энергетической эффективности средств передачи важной технологической, хозяйственной, экологической и других видов информации в

занятых каналах автоматизированных систем передачи информации на большие расстояния.

Эффективность разработанных в диссертации методов, средств и алгоритмов передачи, а также автоматизированной обработки служебных сообщений подтверждается результатами статистического машинного моделирования, а также результатами эксплуатации опытных образцов аппаратуры.

Внедрение результатов исследований и разработок позволило получить существенный эффект, подтвержденный соответствующими актами.

### ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Акимов П.С., Сенин А.И., Соленов В.И.* Сигналы и их обработка в информационных системах. – М.: Радио и связь, 1994. – 256 с.

2. *Шелухин О.И., Беляков И.В., Соленов В.И.* Обработка сигналов в аддитивных негауссовских помехах/Под ред. Соленова В.И. – М.; Изд-во МГТУ, 1994. – 156 с.

3. *Соленов В.И.* Передача разовых сообщений по занятым телефонным каналам. – М.: Изд-во МГТУ, 1996. – 90 с.

4. *Соленов В.И., Шелухин О.И.* Нелинейная обработка и адаптация в негауссовских помехах. – К.: КМУГА, 1997. – 180 с.

5. *Акимов П.С., Дядюнов Н.Г., Сенин А.И., Соленов В.И.* Многоканальные системы связи. Часть IV. – М.: МВТУ, 1976. – 236 с.

6. *Артюшенко В.М., Соленов В.И.* Квазиоптимальная обработка сигналов на фоне узкополосных коррелированных негауссовых помех//Вестник МГТУ им. Баумана. Приборостроение, Вып.2. 1994. – С. 102-109.

7. *Шелухин О.И., Соленов В.И., Артюшенко В.М.* Нелинейная фильтрация сигналов в условиях одновременного воздействия мультипликативных и аддитивных помех с произвольным характером

ром распределения//Вестник МГТУ им. Баумана. Приборостроение, Вып.2. 1993.- С. 85-99.

8. *Сенин А.И., Соленов В.И.* Эффективность одной квазиоптимальной процедуры поиска оптического сигнала//Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов.Сб.научн.тр.К.:КИИГА,1990.- С. 100-107.

9. *Дутлицев А.В., Соленов В.И.* Имитационное моделирование в задачах проектирования комплекса технических средств//Эргономические особенности первоначального этапа освоения авиационной техники.Сб.научн.тр.К.:КИИГА,1989.- С.104-108.

10. *Артюшенко В.М., Соленов В.И., Шелухин О.И.* Оценка параметров сигнала при аддитивных и мультипликативных негауссовских помехах//Статистические методы обработки информации в авиационных радиоэлектронных системах.Сб.научн.тр. К.:КМУГА, 1994.-С.63-66.

11. *Артюшенко В. М., Соленов В.И., Шелухин О.И.* Статистические характеристики спектров сигналов в измерителях ближнего радиуса действия//Статистические методы обработки информации в авиационных радиоэлектронных системах.Сб.научн.тр. К.:КМУГА, 1994.-С.66-69.

12. *Соленов В.И., Шелухин О.И., Беляков И.В.* Нелинейная фильтрация ФМ-сигнала на фоне негауссовских помех //Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов. Труды XI-й Международной НТК. К.: КИИГА. 1992.- С.65.

13. *Шелухин О.И., Соленов В.И., Артюшенко В.М.* Обработка сигналов на фоне негауссовских помех//Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов. Труды XI-й международной конференции К.:КМУГА.1992.-С.66.

14. Шелухин О.И., Соленов В.И. Статистические характеристики и модели сигналов и помех в системах спутниковой связи. //Тез.докл. НТК МГТУ им. Н.Э. Баумана Ч.2 -1995. С.66.

15. Артюшенко В.М., Соленов В.И. Идентификация параметров распределения негауссовских аддитивных и мультипликативных помех//Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Вып.4.1995.- С.74-81.

16. Артюшенко В.М., Соленов В.И. Оценка точности измерения информационных параметров сигнала в условиях воздействия мультипликативно-аддитивных негауссовских помех //Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Вып.4. 1995.-С. 89-96.

17. Соленов В.И., Дуплищев А.В., Лазаренко Н.А. Программная реализация спектрального преобразования Уолша для автоматизированных комплексов //Статистические методы в теории передачи и преобразования информационных сигналов. Тез. докл. Международной НТК. К.: КИИГА. 1992. -С.17 .

18. Соленов В.И. Свойства комбинированных шумоподобных сигналов//Всесоюзная НТК "Проблемы совершенствования радиоэлектронных комплексов и систем обеспечения полетов". К.: КИИГА.1989.- С.25.

19. Соленов В.И. Свойства комбинированных шумоподобных сигналов, используемых в системах передачи данных и космической радиосвязи//Статистический синтез и анализ информационных систем.Тез.докл.Международной НТК.Ульяновск.1989.-С.73.

20. Соленов В.И., Сенин А.И., Миначева А.В. О влиянии взаимных помех при одновременной работе нескольких систем передачи информации с изменением частоты несущей //Тез.докл.ХХХI Всесоюзная НТК. М.:1976.-С.121.

21. Соленов В.И., Сенин А.И., Миначева А.В. Об одном методе построения генераторов кодов//Вопросы радиоэлектроники. Труды МВТУ. №199,1974.- С.25-29.

22. *Сенин А.И., Соленов В.И.* Распределение времени поиска спектра при одноэтапной циклической процедуре// Ресурсосберегающие технологии обслуживания и ремонта авиационного и радиоэлектронного оборудования воздушных судов гражданской авиации. Сб. научн.тр. -К.:КИИГА,1992.- С.115-120.

23. *Артюшенко В.М., Соленов В.И.* Влияние мультипликативных помех на помехоустойчивость волоконно-оптических систем//Сб.научн.тр.М.:ГАБСУ.1994.-С.16-20.

24. *Артюшенко В.М., Соленов В.И., Киричек В.В., Шевченко Р.А.* Помехи волоконно-оптических трактов //Проблемы авионики. Сб. научн. тр. -К.: КМУГА. 1997. -С. 119-122.

25. *Артюшенко В.М., Соленов В.И., Шевченко Р.А., Зуев А.В.* Способ борьбы с интермодуляционными помехами в системах кабельного телевидения//Проблемы авионики. -К.: КМУГА. 1997. -С. 112-118.

26. *Артюшенко В.М., Соленов В.И.* Особенности обработки сигналов в аддитивно-мультипликативных помехах//Сб. научн. тр. ГАБСУ. 1994. -С. 21-25.

27. *Шутко Н.А., Бойко И.Ф., Соленов В.И.* Практическая реализация алгоритмов обработки измерительной информации на основе сплайн-методов//Труды КМУГА. -К.: КМУГА. 1995.

28. *Соленов В.И., Артюшенко В.М.* Оценка точности измерения информационных параметров сигнала на фоне коррелированных негауссовых помех//Вестник МГТУ, серия "Приборостроение" Вып.4.1996.-С.32-39.

29. *Артюшенко В.М., Соленов В.И.* Решения нелинейных стохастических дифференциальных уравнений в дискретном времени//Вестник МГТУ, серия "Приборостроение". Вып.1.1996.- С.14-21.

30. *Артюшенко В.М., Соленов В.И., Шутко Н.А.* Оценка точности измерения информационных параметров сигнала на фоне мультипликативных помех // Проблемы моделирования и цифровой обработки. Сб. научн. тр. К.: КМУГА. -1995. -С.143.

31. *Артюшенко В.М., Соленов В.И., Шутко Н.А.* Помехоустойчивость волоконно-оптических систем передачи данных при воздействии мультипликативных помех // Моделирование радиоэлектронных систем и комплексов обеспечения полетов. Сб. научн. тр. К.: КМУГА. 1996. -С. 81-86.

32. *Артюшенко В.М., Соленов В.И., Шутко Н.А.* Идентификация параметров распределения мультипликативных помех, воздействующих на полезный сигнал // Моделирование радиоэлектронных систем и комплексов обеспечения полетов. Сб. научн. тр. К.: КМУГА. 1996. -С. 31-35.

33. *Артюшенко В.М., Соленов В.И.* Эллиптические симметричные модели негауссовых помех // Моделирование радиоэлектронных систем и комплексов обеспечения полетов. К.: КМУГА. Сб. научн. тр. 1996. -С. 26-29.

34. *Соленов В.И., Шелухин А.О., Шутко В.Н.* Исследование возможности использования шумоподобных сигналов для передачи сигналов взаимодействия по занятым каналам // Моделирование радиоэлектронных систем и комплексов обеспечения полетов. Сб. научн. тр. К.: КМУГА. 1997. -С. 161-168.

**Сольонов В.І.** *Теорія і методи автоматизованої обробки сигналів і передачі службової інформації зайнятими каналами.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.04 - "Автоматизовані системи управління і системи обробки інформації", Київський міжнародний університет цивільної авіації, Київ, 1997.

Захищається 134 наукових роботи, які відображають результати теоретичних та експериментальних досліджень можливості раціонального використання зайнятих каналів зв'язку для передачі службової інформації з допомогою шумоподібних сигналів. Запропоновані нові методи автоматизованої адаптивної обробки службових сигналів при їх виділенні на фоні корельованих негаусовських завад, інваріантних до степені кореляції. Визначені структури трактів обробки, до складу яких введено керовані коректори амплітудно-частотних характеристик.

Запровадження результатів досліджень і розробок у виробництво забезпечило суттєвий ефект, що підтверджено актами.

*Ключові слова:* система передачі даних, службове повідомлення, зайнятий канал, завадова ситуація, достовірність і надійність передачі, адаптивна нелінійна обробка.

**Solenov V.I.** *Theory and methods of automated signal processing and special information transmission using engaged channels.*

Dissertation for scientific degree of Doctor of Technical Science, specialty 05.13.04 - automated control systems and data processing systems. Kiev International University of Civil Aviation, Kiev, 1997.

Dissertation contains results of theoretical and experimental research aimed at improving of usage of engaged channels for special information transmission by noise-like signals. The author has 134 scientific publications that developed new methods of automated processing of special signals. The methods are based on detection of correlated Gaussian noise and supposed to be invariant to the degree of correlation. Developed structure of processing links includes controlled correctors of amplitude and frequency characteristics. Implementation of obtained results in industry leads to significant economical effect, that was proved in corresponding documents.

*Key words:* data processing system, special message, engaged channel, operating through noise, authenticity and reliability of transmission, adaptive non linear processing.



432819

**AB 38.079**