

На правах рукописи

Жиляков Евгений Георгиевич

ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ  
В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

05.13.07-автоматизация технологических  
процессов и производств

05.13.16-применение вычислительной техники,  
математического моделирования и матема-  
тических методов в научных исследованиях  
(технические науки)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Харьков-1994



Диссертация является рукописью. 00778910 (W)

Работа выполнена в Харьковском политехническом институте

Научный консультант - доктор технических наук,  
профессор Корсунов Н.И.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор Берлань А.Ф.

доктор технических наук  
Адасовский Б.И.

доктор технических наук,  
профессор Ястребенецкий М.А.

Ведущее предприятие НПК Киевский институт автоматики

Защита состоится " 10 " 03 1994 г. в 14 часов  
на заседании специализированного Ученого совета Д068.39.02  
в Харьковском политехническом институте (ЗІ0002, г. Харьков,  
ГСП, ул. Фрунзе, 21, ХПИ, ученому секретарю)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьков-  
ского политехнического института.

Автореферат разослан " \_\_\_\_\_ 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

В.У. Кизилов

ДВ-29.154

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. При автоматизации технологических процессов (ТП) и научных исследований (НИ) принятие решений о текущих состояниях контролируемых объектов осуществляется обычно на основе результатов соответствующей обработки генерируемых системами объект-датчик информационных сигналов.

Можно выделить следующие основные направления указанной обработки:

- компенсация искажений формы, возникающих при регистрации и передаче сигналов по каналам связи;
- построение моделей генерации сигналов и помех (идентификация объектов);
- обнаружение изменений моделей генерации сигналов, что можно трактовать как изменение состояний соответствующих объектов (разладка);

Искажения формы сигналов возникают из-за воздействий на них аппаратных функций приемно-передающих и регистрирующих систем в том числе при аналого-цифровом преобразовании (АЦП) амплитуд отсчетов, а также случайных аппаратных шумов и внешних помех.

Для описания схем генерации сигналов и помех наиболее часто используются параметрические модели. Это позволяет в сжатом виде осуществить описанию больших объемов регистрируемых данных и на основе использования значений параметров моделей строить различные решающие процедуры в том числе делать выводы о нормальности или аномальности протекания контролируемых процессов. Важным классом моделей, адекватно описывающих динамические объекты, являются процессы авторегрессии - скользящего среднего (АРСС) и их частные случаи: процессы авторегрессии (АР) и скользящего среднего (СС).

В силу многих причин в АСУ ТП и АСНИ при оценивании состояний контролируемых объектов, как правило, отсутствует априорная информация о свойствах генерируемых ими информационных сигналов, необходимая для реализации из-

вестных методов их обработки.

Здесь следует отнести фильтрацию по Винеру или Калману, оценивание параметров по методу максимального правдоподобия (МП), разработанному для случая независимых отсчетов сигналов, а также оптимальные процедуры обнаружения изменений условий их генерации, которые обычно используют информацию о состояниях объектов после разладок.

Отсутствие эффективных методов оценивания параметров процессов СС и АРСС не позволяет использовать их также широко как и модели АР, что не дает возможности осуществлять идентификацию объектов в классе моделей с наименьшим числом параметров.

Мощным средством анализа динамических процессов в объектах АСУ ТП и АСНИ служит спектральное оценивание генерируемых ими сигналов, позволяющее в частности выделить периодические составляющие, имеющие определенный физический смысл. Главной проблемой спектрального оценивания является обеспечение высокого частотного разрешения при анализе отрезков сигналов ограниченной длительности. В основе современных методов спектрального оценивания положен принцип экстраполяции сигналов, для чего используются довольно ограниченные предположения о схемах их генерации, которые могут выполняться далеко не всегда. Кроме того эти методы эффективны только при малых уровнях воздействующих на сигналы шумов (высокое отношение сигнал/шум).

Наконец следует отметить отсутствие методов восстановления моментов некантованных процессов по моментам соответствующих процессов, регистрируемых на выходах АЦП, а также не исследовано влияние квантования по уровню на статистические погрешности оценивания моментов.

Таким образом, создание эффективных методов и алгоритмов обработки информационных сигналов в условиях априорной неопределенности относительно их свойств является перспективным направлением решения актуальных проблем АСУ ТП и АСНИ.

Целью работы является создание эффективных методов и алгоритмов фильтрации и восстановления сигналов, оценива-

ния их моментов по квантованным по уровню данным, построения моделей генерации сигналов и обнаружения их изменений при принятии в АСУ ТП и АСНИ решений о состояниях контролируемых объектов.

Отличительным признаком диссертации является использование для обработки сигналов инвариантных к их неизвестным характеристикам методов и алгоритмов.

Научная новизна работы заключается :

1. В создании методов построения линейных операторов фильтрации и восстановления сигналов с ограниченной энергией, не требующих других сведений об их свойствах.

2. В разработке и исследовании эффективности новых методов и алгоритмов оценивания параметрических моделей генерации случайных последовательностей в том числе:

- построение уравнений правдоподобия и вывод соотношений для элементов матрицы Фишера и функции плотности вероятностей для оценки вектора параметров гауссовых последовательностей по зависимым значениям ;

- разработка методов идентификации сигналов в классах моделей АРСС и СС на основе использования свойств их обратных ковариационных матриц (КМ);

- разработка метода спектрального оценивания с высоким частотным разрешением сигналов с ограниченной энергией на основе обобщения формулы Котельникова, что позволяет экстраполировать сигналы за пределы интервалов регистрации без использования других сведений об их свойствах;

3. В разработке и исследовании последовательных решающих процедур для обнаружения скачкообразных изменений параметров вероятностных моделей гауссовых последовательностей с использованием критерия минимума среднего запаздывания в регистрации изменений при заданном уровне вероятностей ложных тревог и неизвестных значениях контролируемых параметров после разладок.

4. В решении статистической проблемы квантования гауссовых процессов по уровню с постоянным шагом, включая :

- развитие статистической теории квантования по уровню ;
- методы восстановления моментов неквантованных процессов по моментам соответствующих квантованных ;
- исследования статистических погрешностей оценивания АКФ по квантованным данным ;
- нелинейные уравнения для выбора величины шага квантования по уровню и длины реализации при оценивании АКФ с заданными статистическими и систематическими погрешностями ;
- разработку алгоритмов решения нелинейных уравнений и исследования возникающих при этом погрешностей восстановления моментов.

Практическое значение работы состоит :

1. В разработке и реализации методов и алгоритмов линейной фильтрации и восстановления, инвариантных к неизвестным характеристикам сигналов ;

2. В разработке эффективных алгоритмов оценивания параметров процессов АРСС и СС, что позволяет более адекватно идентифицировать реальные последовательности в классе линейных стохастических разностных уравнений ;

3. В распространении метода МП на случай оценивания параметров гауссовых последовательностей по зависимым значениям ;

4. В разработке нового метода экстраполяции сигналов, что позволяет повысить частотное разрешение при спектральном оценивании сигналов, не привлекая сведений о их свойствах, кроме ограниченности энергии ;

5. В разработке и реализации последовательных решающих процедур наискорейшего в среднем обнаружения изменений параметров моделей генерации информационных сигналов при неизвестных исходах после разладок.

6. В построении методов восстановления моментов неквантованных сигналов по квантованным данным, что позволяет использовать малоразрядные аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и соответственно сокращает аппаратные и вычислительные затраты при регистрации, передаче и обработке сигналов.

Достоверность результатов диссертационных исследований обоснована корректными теоретическими выводами, подтверждается вычислительными экспериментами и использованием для решения практических задач обработки сигналов.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты работы внедрены и используются:

1. В Северодонецком ОКБ автоматики при разработке и изготовлении серийных спектрофотометров типа "Сатурн", используемых для контроля параметров технологических процессов, в медицине, химическом анализе и др. Экономический эффект от внедрения разработанного нами программного обеспечения обработки экспериментальных данных составляет более 1,2 млн.р. в ценах 1992 г;

2. В Научно-исследовательском институте радиотехнических измерений (НИРИ), г. Харьков при контроле состояний различных объектов с помощью радиометров. Использование разработанных нами методов восстановления изображений на входах антенных систем позволяет существенно улучшить пространственное разрешение измерений и локализацию объектов на радиотепловых полях;

3. В Институте радиофизики и электроники АН Украины при обработке радиолокационных полей с целью обнаружения неоднородностей на изотропном фоне;

4. В Государственном центре лекарственных средств Украины при разработке новых лекарственных форм и технологий их производства.

5. В Харьковском физико-техническом институте АН Украины и разработке систем автоматизированного контроля состояний газостатов высокого давления, изготавливаемых с целью испытания в них различных материалов.

6. В Харьковском НИО "Хартрон" при фильтрации и восстановлении сигналов в радиотехнических системах различного назначения.

#### Положения выносимые на защиту

1. Теоретические положения, совокупность которых является вкладом в развитие перспективного направления — создание методов обработки информационных сигналов при принятии в АСУТП и АСНИ решений о состояниях контролируемых объектов в условиях априорной неопределенности относительно свойств генерируемых ими сигналов :

— новые методы построения линейных операторов фильтрации и восстановления сигналов с ограниченной энергией, не требующие других сведений об их свойствах ;

— теория и методы оценивания параметров процессов СС и АРСС на основе использования свойств их обратных ковариационных матриц ;

— обобщение метода максимального правдоподобия на случай оценивания по зависимым значениям параметров, которые определяют первые два момента гауссовых последовательностей ;

— метод спектрального оценивания с высоким частотным разрешением сигналов с ограниченной энергией на основе обобщения формулы Котельникова, не использующий других сведений о свойствах сигналов ;

- теория и методы наискорейшего (в среднем) обнаружения изменений параметров гауссовых последовательностей при неизвестных их значениях после разладок и заданном уровне вероятностей ложных тревог;

- теория и методы восстановления моментов гауссовых процессов по моментам соответствующих квантованных по уровню с постоянным шагом последовательностей, методы определения величины шага квантования по уровню и длительности квантованной реализации при оценивании с заданными систематической и статистической погрешностями автоковариационных функций.

2. Алгоритмы, реализующие разработанные методы обработки информационных сигналов в АСУ ТП и при проведении научных исследований.

Апробация работы. Результаты диссертационных исследований докладывались и обсуждались на Международной и более чем 20 Всесоюзных научно-технических конференциях (НТК) по проблемам обработки сигналов. В их числе: У Международная конференция по теории вероятностей и математической статистике (г. Вильнюс, 1969 г.); IX, X и XI выездные семинары секции "Теория информации" ЦП НТО РЭС им. А.С.Попова (1965, 1967, 1969 г.г.);

I и II НТК "Теория и практика метода некогерентного рассеяния радиоволн (1963, 1967 г.г.); I и II НТК "Функционально-ориентированные вычислительные системы" (1966, 1990 г.г.); втором всесоюзном семинаре по обнаружению изменений свойств случайных процессов (1968 г.); IX НТК по теории передачи информации и кодированию (1968 г.); НТК "Статистические методы в теории передачи и преобразования информационных сигналов" (1968 г.); НТК "Методы представления и обработки случайных сигналов и полей" (1987, 1989, 1990 г.г.); НТК "Компьютерные методы в теории и технике информационных сигналов (1990, 1991 г.г.); НТК "Математическое моделирование в энергетике" (1990 г.); Школе-семинаре "Вероятностные модели и обработка случай-

ных сигналов и полей" (1991 г.) ; НТК "Компьютерный анализ данных и моделирование" (1992 г.) ; НТК "Распространение радиоволн" (1990 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 59 работ в том числе монография, 26 статей и два изобретения на способ обработки сигналов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из Введения, шести глав, Заключения и Приложения, в котором содержатся документы, подтверждающие внедрение результатов. Изложена на 292 страницах машинописного текста, содержит II рисунков, 10 таблиц и список литературных источников из 239 наименований.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обосновывается актуальность работы и дается ее развернутая характеристика. В первой главе работы анализируется проблема информационного обеспечения процедур принятия решений в АСУ ТП и научных исследованиях, используемые при этом математические модели и методы их построения. Показано, что основными направлениями обработки генерируемых контролируемыми объектами информационных сигналов являются фильтрация и восстановление сигналов из смесей с аддитивными шумами, коррекция ошибок, вносимых квантованием по уровню при аналого-цифровом преобразовании отсчетов, построении параметрических моделей генерации сигналов и обнаружение изменений параметров моделей (разладок).

Использование известных критериев качества и основанных на них оптимальных методов обработки сигналов затруднено отсутствием в АСУ ТП и АСНИ необходимой априорной информации о их свойствах. Поэтому следует разработать методы и алгоритмы, инвариантные к неизвестным характеристикам сигналов.

На основании проведенного анализа и в соответствии с целью работы сформулированы следующие задачи по разработке теоретических основ, методов и алгоритмов инвариантной

обработки сигналов:

1. Фильтрация из аддитивных смесей с шумами сигналов, свойства которых неизвестны за исключением ограниченности энергии и возможно полосы частот, где сосредоточена ее подавляющая часть;

2. Восстановление входных воздействий с ограниченной энергией в линейных системах с постоянными параметрами по искаженным аддитивными шумами откликам на их выходах;

3. Оценивание параметрических моделей генерации сигналов и шумов;

4. Последовательное обнаружение скачкообразных изменений параметров моделей генерации сигналов по критерию минимума среднего запаздывания в обнаружении разладок с неизвестными исходами;

5. Решение статистической проблемы равномерного квантования по уровню гауссовых сигналов, включая :

- восстановление моментов неквантованных процессов по моментам соответствующих квантованных;

- исследование статистических погрешностей оценивания моментов по квантованным данным;

- выбор шага квантования по уровню, исходя из заданной погрешности оценивания моментов.

6. Реализация методов обработки информационных сигналов в задачах принятия решений о состояниях технологических объектов управления и при феноменологических исследованиях явлений, процессов и объектов различного происхождения.

Во второй главе разработаны теоретические основы, методы и алгоритмы оценивания сигналов  $x(\cdot)$  по зарегистрированным значениям аддитивной смеси

$$f(t) = \int \theta(t-\tau) x(\tau) d\tau + u(t) = y(t) + u(t), \quad (I)$$

где  $u(\cdot)$  - случайная погрешность регистрации смеси;

$G(\cdot)$  - аппаратная функция регистрирующей системы (импульсная характеристика, ядро, оператор свертки), для которой существует пара преобразований Фурье

$$\tilde{G}(\omega) = \int G(t) e^{j\omega t} dt; \quad G(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{G}(\omega) e^{-j\omega t} d\omega.$$

Здесь и в дальнейшем предполагается, что интегрирование производится по соответствующим областям определения подинтегральных функций, а  $y(\cdot)$  называется сигнальной частью наблюдений.

В частном случае  $G(\cdot) = \delta(\cdot)$  наблюдения  $f(\cdot)$  являются аддитивной смесью шумов и искомого сигнала, оценивание которого сводится к классической задаче фильтрации (компенсация искажающего действия шумов).

Важнейшим из используемых условий на класс оцениваемых сигналов является ограниченность их евклидовых норм

$$\|x\|^2 = \int x^2(t) dt < \infty, \quad (2)$$

что позволяет ввести пару преобразований Фурье

$$\tilde{x}(\omega) = \int x(t) e^{j\omega t} dt; \quad x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{x}(\omega) e^{-j\omega t} d\omega. \quad (3)$$

В качестве другого более ограничительного условия, которое вместе с тем обычно выполняется, используется предположение о том, что известен интервал частот  $\omega \in Q$ , где сосредоточена подавляющая доля энергии сигналов, то есть

$$1 - \frac{1}{2\pi \|x\|^2} \int_Q |\tilde{x}(\omega)|^2 d\omega \ll 1. \quad (4)$$

Оценка сигнала также представляется в виде линейной формы

$$\hat{x}(z) = \int B(t) f(z-t) dt, \quad (5)$$

ядро которого  $B(\cdot)$  подлежит определению. При этом предполагается существование пары преобразований Фурье

$$\tilde{B}(\omega) = \int B(t) e^{j\omega t} dt; \quad B(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{B}(\omega) e^{-j\omega t} d\omega. \quad (6)$$

Подстановка в представление (5) определения (1) дает

$$\hat{X}(z) = X_1(z) + \eta(z) = \int B(t) y(z-t) dt + \eta(z), \quad (7)$$

где  $X_1(\cdot)$  - сигнальная часть оценки;  $\eta(\cdot)$  - результирующая случайная погрешность воспроизведения сигнала.

дальнейшие построения зависят от имеющейся априорной информации о свойствах шумов.

Пусть погрешность регистрации  $u(\cdot)$  в (1) является стационарным центрированным случайным процессом с известной спектральной плотностью

$$\tilde{R}(\omega) = 2\pi \sigma_u^2 \tilde{L}(\omega), \quad (8)$$

где  $\sigma_u^2$  - дисперсия  $u(\cdot)$ .

Тогда результирующая случайная погрешность  $\eta(\cdot)$  оценки (5) также будет стационарным случайным центрированным процессом. При этом компенсирующее действие фильтра на случайные искажения естественно охарактеризовать отношением дисперсий

$$\gamma(\tilde{B}) = \sigma_{\tilde{X}}^2(\tilde{B}) / \sigma_u^2. \quad (9)$$

Это отношение в общем случае подлежит минимизации. Однако при этом следует учитывать искажения сигнальной части оценки (7), для чего введен функционал

$$I(\tilde{B}) = \int \left| \frac{\tilde{X}_1(\omega) - \tilde{X}(\omega)}{\tilde{X}(\omega)} \right|^2 d\omega, \quad (10)$$

который очевидно равен квадрату евклидовой нормы относительно погрешности воспроизведения спектра сигнала.

Тогда общей характеристикой искажений оценки (7) по сравнению с искомым сигналом может служить параметрическое семейство функционалов

$$J(\tilde{B}, \lambda) = I(\tilde{B}) + \lambda \chi(\tilde{B}), \quad (11)$$

где  $\lambda$  — неопределенный множитель Лагранжа.

Требование минимума функционала (7) дает критерий отбора ядра фильтра (5)

$$J(\tilde{B}, \lambda) = \min_{\tilde{B}}. \quad (12)$$

Сформулированные выше условия на свойства ядер  $G(\cdot)$ ,  $B(\cdot)$  и искомого сигнала  $X(\cdot)$  позволяют дважды применить теорему о свертке, так что спектр (трансформанта Фурье) сигнальной части оценки (7) определяется соотношением

$$\tilde{\chi}_s(\omega) = \tilde{B}(\omega) \tilde{G}(\omega) \tilde{X}(\omega). \quad (13)$$

Подстановка (13) в (10) и (11) после минимизации согласно критерию (12) позволяет получить искомое соотношение для трансформанты Фурье оптимального в этом смысле ядра фильтра (5)

$$\tilde{B}(\omega) = \frac{\tilde{G}^*(\omega)}{|\tilde{G}(\omega)|^2 + \lambda \tilde{L}(\omega)}, \quad (14)$$

где звездочка означает комплексное сопряжение.

Соответственно для случая простой фильтрации соотношение (14) дает

$$\tilde{B}(\omega) = \frac{1}{1 + \lambda \tilde{L}(\omega)}. \quad (15)$$

При выполнении условия (4) эти соотношения следует модифицировать, положив

$$\tilde{B}(\omega) \equiv 0, \quad \omega \notin Q. \quad (16)$$

Подстановка (14) в определение (9) дает

$$\gamma(\tilde{B}) = \int \frac{|\tilde{\theta}(\omega)|^2 \tilde{L}(\omega) d\omega}{[|\tilde{\theta}(\omega)|^2 + \lambda \tilde{L}(\omega)]^2}, \quad (17)$$

а относительная погрешность воспроизведения спектра сигнала, очевидно, равна

$$\varepsilon(\omega) = [\hat{\chi}_1(\omega) - \tilde{\chi}(\omega)] / \tilde{\chi}(\omega) = \lambda \tilde{L}(\omega) / [|\tilde{\theta}(\omega)|^2 + \lambda \tilde{L}(\omega)]. \quad (18)$$

Соотношения (17) и (18) являются основой для определения величины параметра  $\lambda$ . В работе предложено несколько подходов для вычисления значения  $\lambda$ , исходя из требований обеспечения заданной величины погрешности воспроизведения спектра сигнала.

Условие (12) относится к классу критериев типа наименьших квадратов (НК) и характеризует погрешности воспроизведения сигналов "в целом", то есть во всей области определения их спектров. Кроме того соотношение (14) и (15) можно использовать только в том случае, когда шум является стационарным случайным процессом с известной спектральной плотностью, что далеко не всегда может выполняться. Поэтому в работе рассмотрен и другой подход к построению ядра фильтра (5), основанный на использовании локальных характеристик искажений сигнальной части и не требующий априорных сведений о свойствах шумов. Естественно, что при этом уже не удается гарантировать заданный уровень подавления помех.

Пусть

$$\begin{aligned} \tilde{F}(\omega) &= \tilde{B}(\omega) \tilde{G}(\omega), \\ F(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{F}(\omega) e^{-j\omega t} d\omega. \end{aligned} \quad (19)$$

Из соотношения (13) следует, что для сохранения фазовой структуры спектра сигнала необходимо обеспечить

$$\operatorname{Im} \tilde{F}(\omega) \equiv 0, \quad (20)$$

а сигнальная часть оценки в (7) может быть представлена в виде

$$\hat{X}_1(t) = \int F(t) X(t-t) dt. \quad (21)$$

При выполнении (20) ядро  $F(\cdot)$  будет вещественной четной функцией и для характеристики сглаживающего действия свертки (21) на сигнал удобно использовать интервал  $\Delta(\beta, F)$ , удовлетворяющий условию

$$2 \int_0^{\Delta(\beta, F)} F^2(t) dt = \beta \|F\|^2, \quad (22)$$

где  $0 < \beta < 1$ .

Интервал  $\Delta(\beta, F)$  принято называть шириной функции  $F$  на уровне  $\beta$ . Если  $\beta \approx 1$ , то на графике сигнальной части  $X_1(\cdot)$  будут сохраняться экстремумы сигнала  $X(\cdot)$ , отстоящие друг от друга на оси  $t$  на расстояниях больших  $2 \Delta(\beta, F)$ . В этом смысле можно говорить, что при уменьшении  $\Delta(\beta, F)$  улучшается (повышается) разрешение фильтра (5).

В работе рассмотрены два подхода к построению ядер  $F(\cdot)$  на основе понятия ширины (разрешения) на заданном уровне  $\beta \approx 1$ . В обоих случаях для получения устойчивой оценки вида (7) подавление ее случайной составляющей осуществляется за счет выбора  $F(\cdot)$  из класса функций, трансформанты которых имеют финитные области определения, то есть предполагается

$$\tilde{F}(\omega) \equiv 0, \quad \omega \in Q, \quad (23)$$

где  $Q$  - некоторая область оси  $\omega$ , которая ввиду (20) должна быть симметричной относительно  $\omega=0$ . Полагая для простоты эту область сплошной

$$Q = [-\Omega, \Omega], \quad (24)$$

можно либо зафиксировать ее границы

$$\Omega = \Omega_0 \quad (25)$$

и потребовать выполнения

$$\Delta(\beta, F) = \min_{\beta} \quad (26)$$

либо зафиксировать ширину ядра

$$\Delta_0(\beta, F) = \Delta_0 \quad (27)$$

и минимизировать размеры области

$$\Omega = \min_{\beta} \quad (28)$$

В обоих случаях решения этих вариационных задач имеют вид

$$\tilde{F}(\omega) = A(c) \tilde{\psi}_0(c, \omega \omega^2); \quad (29)$$

$$\mu_0(c) = \beta, \quad (30)$$

где  $\tilde{\psi}_0$  - собственная функция ядра  $\text{sinc } z/\alpha z$ ,  $|z| \leq 1$ , соответствующая максимальному собственному числу  $\mu_0$ , причем выполняется

$$\int_{-1}^1 |\tilde{\psi}_0(c, z)|^2 dz = 1. \quad (31)$$

Коэффициент

$$A(c) = \int_{-1}^1 \tilde{\psi}_0(c, z) dz \quad (32)$$

обеспечивает минимум функционала (10) при таком выборе  $\tilde{F}(\cdot)$ .

В формулировке задачи (25), (26) параметр  $\mathcal{D}$  равен

$$\mathcal{D} = 1/\sqrt{\Omega}, \quad (33)$$

а при использовании условий (27), (28) следует положить

$$\mathcal{D} = \sqrt{\Delta_0/c}. \quad (34)$$

В обоих случаях трансформанта искомого ядра согласно (19) должна иметь вид

$$\tilde{B}(\omega) = \mathcal{D} A(c) \tilde{\varphi}_0(c, \omega \mathcal{D}^2) / \tilde{G}(\omega), \quad (35)$$

причем в тех точках оси  $\omega$ , где  $\tilde{G}(\omega) = 0$  необходимо положить  $\tilde{B}(\omega) = 0$ .

Разработаны алгоритмы решения уравнения (30) и вычисления  $\tilde{\varphi}_0(\cdot)$ .

При практической реализации оператора (5) его ядро  $B(\cdot)$  должно иметь финитную область определения  $t \in R = [-T, T]$ . Для сокращения вычислительных затрат и времени принятия решений следует минимизировать размеры  $R$ , сохранив при этом в максимальной степени выполнимость соотношений (14) и (29).

На основе принципа НК разработан алгоритм построения ядер оператора (5) с конечной областью определения, трансформанты которых в заданной полосе частот наилучшим образом аппроксимируют задаваемые правыми частями соотношений (14) и (29) частотные характеристики.

Проведены вычислительные эксперименты, которые показали, что построенные в работе фильтры и восстанавливающие операторы позволяют достичь высокого качества оценивания сигналов.

В третьей главе работы рассмотрена проблема построения параметрических моделей случайных последовательностей.

Получены соотношения для производных логарифма функции правдоподобия (ФП) гауссовых последовательностей  $X_k, k=1, \dots, N$ , по параметрам, от которых зависят их математические ожидания  $M$  и ковариационные матрицы  $KM$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha_i} = \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k,r=1}^N \left\{ \sum_{e,n=1}^N x_e x_n a_{re} a_{kn} - a_{rk} \right\} \frac{\partial R_{kn}}{\partial \alpha_i} - \sum_{k=1}^N \frac{\partial m_k}{\partial \alpha_i} \sum_{n=1}^N a_{kn} x_n, \quad i = 1, \dots, p,$$

где  $\vec{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_p)'$  - вектор параметров;  $L$  - ФП;

$$\vec{X} = (x_1, \dots, x_N)'; \quad x_k = y_k - m_k, \quad k = 1, \dots, N;$$

$$m_k = E y_k;$$

$$R = \{R_{kr}\}; \quad R = E \vec{X} \vec{X}';$$

$$R^{-1} = \{a_{kr}\}, \quad k, r = 1, \dots, N.$$

Выведены также соотношения

$$f_{ij} = \frac{1}{4} \sum_{k,r,e,n=1}^N (a_{ke} a_{rn} + a_{kn} a_{re}) \frac{\partial R_{kr}}{\partial \alpha_i} \frac{\partial R_{me}}{\partial \alpha_j} + \sum_{k,r=1}^N \frac{\partial m_k}{\partial \alpha_i} \frac{\partial m_r}{\partial \alpha_j} \quad (37)$$

для элементов информационной матрицы Фишера

$$F = \{f_{ij}\}, \quad i, j = 1, \dots, p.$$

Для оценки МП вектора  $\vec{\alpha}$ , которая вычисляется приравниванием правых частей (36) нулю, получено соотношение, позволяющее вычислить функцию плотности вероятностей.

Детально рассмотрена проблема оценивания параметров моделей АР СС, описывающих стационарные последовательности

$$\sum_{k=0}^p \beta_k (y_{t-k} - m) = \hat{\sigma}^2 \sum_{i=0}^q \alpha_i u_{t-i}, \alpha_0 = \beta_0; t = 0, \pm 1, \dots \quad (38)$$

где  $u_t$  - центрированный дискретный белый шум с единичной дисперсией.

Новые алгоритмы оценивания  $\alpha_i$  и  $\beta_k$  получены на основе исследования свойств элементов обратных КМ процессов АРСС.

Показано, что для процессов СС при  $N \gg 1$  имеет место асимптотическое равенство

$$a_{k,1} + \sum_{i=1}^k \alpha_i a_{k-i,1} \approx 0, \quad (39)$$

которое очевидно порождает систему линейных уравнений относительно параметров.

Для процессов АР порядка  $p$  при  $N \gg p+1$  имеет место

$$a_{11} = 1/\hat{\sigma}^2, \\ a_{k,1} = \begin{cases} a_{11} - \beta_{k-1}, & 2 \leq k \leq p+1, \\ 0, & k \geq p+1. \end{cases} \quad (40)$$

Пусть размерности рассматриваемых КМ процесса АРСС удовлетворяют неравенству  $N \geq N_0 = \max(p, q) + 2$ . Положим

$$\vec{e}^T = (1, 1, \dots, 1)^T;$$

$$Z_m^N = \begin{pmatrix} a_{11}^N & a_{21}^N & \dots & a_{m,1}^N \\ a_{11}^{N+1} & a_{21}^{N+1} & \dots & a_{m,1}^{N+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{11}^{N+m-1} & a_{21}^{N+m-1} & \dots & a_{m,1}^{N+m-1} \end{pmatrix}$$

то есть матрица  $Z_m^N$  размерности  $m \times m$  составлена из отрезков первых столбцов обратных КМ размерностей  $N, N+1, \dots, N+m-1$ .

Показано, что  $\det Z_m^N \neq 0, m \leq q+1$ ;  $\det Z_m^N = 0, m > q+1$ , что позволяет определить порядок

части СС общей модели (30). Кроме того получено соотношение

$$\vec{\beta}_N = R_N^{-1} (Z_m^N)^{-1} \vec{e}, \quad m = q+1, \quad (41)$$

для вектора  $\vec{\beta}_N = (\beta_1, \dots, \beta_p, 0, \dots, 0)'$  параметров авторегрессионной ее части. После его использования оказывается возможным вычислить правую часть (30), то есть получить процесс СС порядка  $q$ , для определения параметров которого следует использовать методику, приводящую к уравнению (39).

Разработан метод оценивания частот  $\omega_k$  смеси косинусоид

$$y(t) = \sum_{k=1}^m A_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (42)$$

по зашумленной выборке

$$f(t) = y(t) + u(t) \quad (43)$$

конечной длительности  $t \in [-T, T]$ . В соотношениях (42) и (43)  $A_k, \varphi_k$  - неизвестные амплитуды и фазы, а  $u(t)$  - искажающий шум с неизвестными характеристиками.

Оценка частот  $\omega_k$  осуществляется по положениям максимумов на естественной спектральной характеристике

$$|\tilde{f}_q(\omega)|^2 = \left| \int_{-q}^q f_q(t) e^{j\omega t} dt \right|^2, \quad (44)$$

где

$$f_q(t) = \begin{cases} f(t), & t \in [-T, T], \\ \hat{f}(t), & t \notin [-T, T]. \end{cases} \quad (45)$$

Здесь  $\hat{f}(t)$  - продолжение (прогноз) наблюдений за пределы интервала их регистрации. Для построения продолжения сигналов разработан новый метод, основой которого служит полученное в работе обобщение известной теоремы отсчетов Котельникова. Показано, что для сигнала  $\varphi(\cdot)$  с ограниченной энергией справедливо представление

$$\varphi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z_k(\theta, t) S_k(\theta, t), \quad (46)$$

где  $Z_k(\cdot)$  - структурные периодические функции

$$Z_k(\theta, t) = Z_k(\theta, t + 2r\theta) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \varphi(t - 2i\theta) S_{k+i}(\theta, t); \quad (47)$$

$$S_k(\theta, t) = \sin\{\pi(t/2\theta - k)\} / \pi(t/2\theta - k); \quad (48)$$

$2\theta$  - произвольный конечный период.

Разработан метод оценивания периодических структурных функций  $Z_k$  по зарегистрированному отрезку сигнала  $\varphi(t)$  конечной длительности  $t \in [-T, T]$ . Сигнал представляется в виде

$$\hat{\varphi}(t) = \sum_{k=-N}^N \hat{Z}_k(\theta, t) S_k(\theta, t). \quad (49)$$

Основным условием при построении структурных функций является обеспечение равенства

$$\hat{\varphi}(t) = \varphi(t), \quad t \in [-T, T], \quad (50)$$

а также непрерывность аппроксимации (49), когда приближаемый сигнал является непрерывным.

Показано, что условие непрерывности выполняется, если выбрано

$$\begin{aligned} T/\theta &= 2n \\ Z_k(\theta, 0) &= \varphi(2k\theta), \quad |k| \leq 2n. \end{aligned} \quad (51)$$

Естественно, что в представлении (49) необходимо положить

$$N > 2n. \quad (52)$$

Пусть

$$\theta = \text{diag}(g_N, \dots, g_1, 1, g_1, \dots, g_N); \quad (53)$$

$$\vec{Z}(t) = (\vec{Z}_N(\theta, t), \dots, \vec{Z}_0(\theta, t), \dots, \vec{Z}_N(\theta, t))';$$

$$\vec{U}_i(t) = (S_N(\theta, t + 2(i-n)\theta), \dots, S_N(\theta, t + 2(i-n)\theta))'; \quad (54)$$

$$\vec{\varphi} = (\varphi(-2N\theta), \dots, \varphi(2N\theta))'; \quad i = 0, 1, \dots, 2n-1; \quad (55)$$

$$R(t) = \begin{cases} \sum_{i,j=0}^{2n-1} \alpha_{ij}(t) \vec{u}_i(t) \vec{u}_j'(t), & 0 < t \leq \theta, \\ \sum_{i,j=0}^{2n-1} \alpha_{ij}(t+2\theta) \vec{u}_i(t+2\theta) \vec{u}_j'(t+2\theta), & -\theta \leq t \leq 0, \end{cases} \quad (56)$$

$$\vec{r}(t) = \begin{cases} \sum_{i,j=0}^{2n-1} d_{ij}(t) \vec{u}_i(t) \varphi[t+2(j-n)\theta], & 0 < t \leq \theta, \\ \sum_{i,j=0}^{2n-1} \alpha_{ij}(t+2\theta) \vec{u}_i(t+2\theta) \varphi[t+2(j+1-n)\theta], & -\theta \leq t \leq 0, \end{cases} \quad (57)$$

$$A = \{ \alpha_{ij}(t) \} = \{ \vec{u}_i(t) G \vec{u}_j'(t) \}^{-1}, \quad i, j = 0, \dots, 2n-1, \quad (58)$$

Тогда требованию (50) и непрерывности продолжения (49) удовлетворяет вектор структурных функций

$$\vec{z}(t) = \vec{\varphi} + G [ \vec{r}(t) - R(t) \vec{\varphi} ], \quad (59)$$

при этом элементы диагональной матрицы  $G$  и компоненты вектора  $\vec{\varphi}$  кроме удовлетворяющих требованию (51), могут быть любые.

Выбор элементов диагонали матрицы  $G$  осуществляется из условия

$$g_k = \int_{-\tau}^{\tau} s_0^2(\theta, t) dt / \int_{-\tau}^{\tau} s_k^2(\theta, t) dt, \quad (60)$$

а для отбора недостающих компонент вектора  $\vec{\varphi}$  предложено использовать принцип

$$\sum_{k=N-\theta}^N \int_0^{\theta} [ \vec{z}_k(t) - \frac{1}{2\theta} \int_{-\theta}^{\theta} \vec{z}_k(t) dt ]^2 dt = \min \quad (61)$$

что соответствует минимизации энергии аппроксимации (49) вне интервала частот  $[-\pi/2\theta, \pi/2\theta]$ .

Таким образом, получено решение задачи построения аппроксимаций (49) по отрезку наблюдений  $\varphi(t)$  на интервале  $t \in [-T, T]$ , что позволяет осуществлять продолжение сигналов.

Отметим, что представление (46) является обобщением известной формулы Котельникова (теорема отсчетов) и переходит в нее, когда трансформанта Фурье  $\hat{\psi}(\omega)$  исходного сигнала  $\psi(t)$  имеет финитную область определения  $\omega \in [-\Omega, \Omega]$ , а период структурных функций удовлетворяет условию

$$2\theta \leq \pi/\Omega \quad (62)$$

Были проведены вычислительные эксперименты по применению разработанного метода экстраполяции сигналов при оценивании частот косинусоид по зашумленным согласно (43) данным. При этом использовался окрашенный гауссов шум  $u(t)$  типа процесса AP(2). Эти эксперименты позволяют говорить о достаточно уверенном определении количества косинусоид даже при равном единиче отношении сигнал/шум по мощности и длительности отрезка наблюдений  $T < \pi/\Delta\omega$ , где  $\Delta\omega$  - разность круговых частот косинусоид смеси (42) из трех косинусоид с единичными амплитудами.

В четвертой главе рассмотрена проблема обнаружения изменений параметров вероятностных моделей случайных последовательностей с использованием критерия минимума среднего запаздывания при фиксированном уровне вероятностей ложных тревог.

Предполагается, что до изменений вектор контролируемых параметров известен точно, тогда как после разладки он либо неизвестен совсем, либо известен с точностью до мультипликативной константы. Показано, что в этих условиях при построении решающих функций (РФ) следует использовать производные логарифма функции правдоподобия.

Подробно исследован случай разладок в гауссовых последовательностях. При этом использованы результаты полученных в работе обобщений метода МП на случай зависимых наблюдений.

Детально рассмотрена задача обнаружения изменений параметров гауссовых процессов AP при полностью неизвестных их значениях после разладок.

Построена не имеющая мертвых зон векторная РФ

$$\hat{S}_m(t) = (s_1(t), \dots, s_m(t))'$$

с количеством компонент

$$n \geq p+2,$$

где  $p$  — порядок процесса AP

$$\sum_{k=0}^p \beta_k (y_{t-k} - m) = b u_t, \beta_0 = 1.$$

Здесь  $u_t$  — последовательность типа белого шума с единичной дисперсией.

Компонанты РФ вычисляются последовательно

$$S_1(t) = \sum_{k=1}^t u_k = S_1(t-1) + u_t;$$

$$S_2(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^t u_k^2 - t/2 = S_2(t-1) + (u_t^2 - 1)/2;$$

$$S_i(t) = \sum_{k=1}^{t+i-1} u_k u_{k+i-2} = S_i(t-1) + u_{t+i-1} u_t, i = 3, \dots, m;$$

$$S_i(0) = 0, i = 1, \dots, m.$$

Они позволяют обнаружить изменения параметров  $m, b, \beta_k, k=1, \dots, p$ , исходного процесса AP с вероятностью сколь угодно близкой к единице при достаточно большом значении  $t$ .

Проведены вычислительные эксперименты по моделированию процедур обнаружения разладок в процессах AP. Их результаты свидетельствуют о высокой работоспособности разработанных алгоритмов.

В пятой главе диссертации исследована статистическая проблема квантования случайных процессов по уровню. Эта проблема главным образом заключается в восстановлении вероятностных характеристик неквантованных процессов по характеристикам соответствующих квантованных.

Кроме того существенный интерес представляет исследование влияния квантования по уровню на статистические погрешности оценивания моментов по квантованным данным.

Важной также является задача выбора величины шага квантования, если задан допустимый уровень различий в характеристиках квантованных и неквантованных процессов.

Эти аспекты рассмотрены в предположении, что квантование описывается моделью

$$y^*(t) = [y(t)/\Delta + 0,5 \operatorname{sign}\{y(t)\}], \quad (63)$$

где  $\Delta$  - шаг квантования; символ  $[ \cdot ]$  означает целую часть.  
 $y^*$ ,  $y$  - соответственно квантованный и неквантованный процессы.

Получены нелинейные уравнения

$$E y(t) = E y(t) - \frac{\Delta}{\pi} \exp(-2\pi d^2) \sin\{2\pi E y(t)/\Delta\}; \quad (64)$$

$$\sigma^2 = \sigma^{*2} - \frac{\Delta^2}{12} + \left(4\sigma^2 + \frac{\Delta^2}{\pi^2}\right) \exp(-2\pi^2 \sigma^2/\Delta^2); \quad (65)$$

$$\left\{1 - 4 \exp(-2\pi^2 \sigma^2/\Delta^2)\right\} R(t) = R^*(t) - \frac{\Delta^2}{\pi^2} \sum_{i,k=1}^{15} \frac{(-1)^{i+k}}{ik} \exp\left\{-2 \frac{\pi^2 \sigma^2}{\Delta^2} (i^2+k^2)\right\} \operatorname{sh}\left\{4 \frac{\pi^2}{\Delta^2} ik R(t)\right\} \quad (66)$$

которые позволяют вычислить математическое ожидание и автоковариационную функцию АКФ  $R(\cdot)$  неквантованного процесса если известны соответствующие моменты квантованного.

Здесь  $\sigma^2 = R(a)$ ,  $d^2 = \sigma^2/\Delta^2$ .

Кроме того, если задана погрешность

$$\gamma(t) = \{R(t) - R^*(t)\} / R(t),$$

то уравнения (65) и (66) можно решить относительно параметра  $d$  и тем самым определить величину шага квантования.

Получено также уравнение, позволяющее либо при заданных шаге квантования и статистической погрешности оценивания дисперсии выбрать количество необходимых отсчетов  $N$  либо величину шага квантования при известном количестве отсчетов  $N$ , которые используются для вычисления оценок моментов.

Разработаны алгоритмы решения нелинейных уравнений вида (64) ÷ (66) и показано при этом уменьшаются также статистические погрешности, если вместо  $R^*$  используются ее оценки.

Проведены вычислительные эксперименты, результаты которых подтверждают высокую точность получаемых с помо-

щью уравнений (64) ÷ (66) значений моментов неквантованных гауссовых процессов.

Методом статистического моделирования также детально исследованы зависимости дисперсий оценок АКФ по квантованным данным при использовании конечных выборок. В результате появляется дополнительная информация, позволяющая более обоснованно выбирать величину шага квантования или длительность выборки.

Модель (63) описывает квантование по уровню в ситуации, когда значения квантуемой реализации не выходят за пределы динамического диапазона используемого аналого-цифрового преобразователя. Вместе с тем ввиду априорной неопределенности о свойствах сигналов при автоматизации ТП и научных исследований возможно невыполнение этого условия. Поэтому более адекватной является иная чем (63) модель квантования

$$y^*(t) = \begin{cases} M\Delta, & y(t) \geq M\Delta, \\ [y(t)/\Delta + 0,5 \operatorname{sign}\{y(t)\}], & |y(t)| \leq M\Delta, \\ -M\Delta, & y(t) < -M\Delta, \end{cases} \quad (67)$$

где  $M$  - количество уровней квантования.

Следует отметить, что при таком квантовании не удастся получить уравнения, которые аналогично (64) - (66) хотя бы в принципе позволяют точно вычислить моменты неквантованных процессов. Поэтому предлагается иной путь.

Получены дифференциальные уравнения, связывающие математические ожидания и АКФ процессов на выходе и входе квантователей. Численное решение этих уравнений позволяет построить соответствующие характеристики вход-выход квантователей, которые являются взаимно однозначными. Следовательно имеется возможность графического пересчета моментов квантованного процесса в соответствующие моменты неквантованного.

Проведен вычислительный эксперимент по расчету этих зависимостей вход-выход для конкретного практического примера малоуровневого АЦП. Результаты этого эксперимента

подтверждают возможность использования указанного подхода к восстановлению моментов некантованных процессов по описываемой моделию (62) кантованным данным.

В шестой главе описаны применения разработанных методов и алгоритмов оценивания сигналов в задачах контроля технологических процессов и при исследовании объектов различного происхождения. При этом достаточно детально рассматриваются постановки задач, алгоритмы их решения и используемые при этом математические модели и методы.

Внедрение результатов работы осуществлено в научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях промышленности (ОКБА г. Северодонецк, НПО "Хартрон", НИИ радиотехнических измерений, Государственный научный центр лекарственных средств Украины), институтах Академии наук Украины (ИРЭ и ХФТИ) и Харьковском политехническом институте.

Реализация каждого из внедрений потребовала анализа задачи, соответствующих теоретических обоснований их решений, разработки алгоритмов и их программных реализаций.

В Северодонецком ОКБА используется программная реализация методики обработки данных анализа состава промышленных проб с помощью спектрофотометров типа "Сатурн". Эти спектрофотометры разрабатываются и изготавливаются малыми сериями в ОКБА. Использование нашей методики позволило повысить достоверность результатов анализа и снизить предел обнаружения при регистрации малых концентраций различных веществ в пробах.

Метод восстановления полей с высоким разрешением применяется в НИИРИ при обработке данных радиометрического контроля за состояниями различных объектов. Эта задача решается с целью компенсации сглаживающего действия диаграмм направленности ДН антенных систем радиометров. Использование разработанных методов построение ядер линейных восстанавливающих операторов позволило локализовать источники неоднородностей радиотепловых полей и разделить их в пространстве (разрешить).

Методы фильтрации и восстановления используются также

в НПО "Хартрон" для повышения качества работы радиосистем различного назначения.

Для ГИЦИС разработаны и внедрены элементы экспертной системы, что позволяет автоматизировать технологический процесс разработки новых лекарственных средств. Актуальность этой работы обусловлена необходимостью ускорения процесса разработки технологий производства лекарственных средств в связи с меняющейся экологической обстановкой. Элементы экспертной системы включают программные средства ведения баз данных и баз знаний. Кроме того разработана процедура принятия решений о составе лекарственной формы, характеристики качества которой наиболее близки к заданным.

В Харьковском физико-техническом институте АН Украины используется методика контроля состояний газостатов высокого давления при испытаниях в них различных материалов. Эта методика основана на обнаружении нарушений при обработке сигналов акустической эмиссии.

Институт радиофизики и электроники АН Украины является ведущей организацией в области морской радиолокации, с помощью которой можно обнаружить различные неоднородности на поверхности моря. В частности эти неоднородности могут быть обусловлены антропогенными воздействиями в том числе нефтяными пятнами и т.д. Была разработана методика и алгоритмы обработки радиолокационных полей с целью обнаружения этих неоднородностей, которая внедрена в ИРЭ.

Некоторые результаты диссертации использованы в Харьковском политехническом институте при проведении ионосферных исследований методом некогерентного рассеяния радиоволн.

Рассмотрены также перспективы дальнейших применений результатов диссертационных исследований в АСУТП и при проведении научных исследований.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ РАБОТЫ

I. Разработаны теоретические положения, совокупность которых является вкладом в развитие перспективного направления – создание методов обработки информационных сигналов при принятии в АСУ ТП и АСНИ решений о состояниях контролируемых объектов в условиях неопределенности относительно свойств генерируемых ими сигналов :

- разработаны новые методы построения линейных операторов фильтрации и восстановления сигналов с ограниченной энергией, не требующие других сведений об их свойствах ;

- развит метод максимального правдоподобия на случай оценивания параметров, от которых зависят математические ожидания и ковариационные матрицы гауссовых последовательностей; получены соотношения для производных логарифма функции правдоподобия, элементов информационной матрицы Фишера и многомерной функции плотности вероятностей соответствующего вектора оценок ;

- разработаны эффективные методы оценивания параметров моделей СС и АРСС, что позволяет более адекватно осуществлять идентификацию объектов управления в классе линейных моделей с малым количеством параметров ;

- разработан метод спектрального оценивания с высоким частотным разрешением сигналов с ограниченной энергией на основе полученного обобщения формулы Котельникова, что позволяет не использовать других предложений о свойствах сигналов ;

- разработаны и исследованы последовательные решающие процедуры обнаружения скачкообразных изменений параметров вероятностных моделей случайных последовательностей с использованием критерия минимума среднего запаздывания в регистрации изменений при заданном уровне вероятностей ложных тревог и неизвестных значений контролируемых параметров после разладок ;

- предложено решение статистической проблемы квантования по уровню с постоянным шагом гауссовых процессов: получены уравнения, позволяющие восстановить моменты процессов на входе квантователей по моментам соответствующих квантованных процессов, а также вычислить величину шага квантования и длительность квантованной последовательности, исходя из заданной погрешности оценивания автоковариационных функций.

2. Проведенные в работе вычислительные эксперименты подтверждают эффективность разработанных методов обработки сигналов при априорной неопределенности относительно их свойств.

3. Практическая полезность полученных теоретических положений и разработанных на этой основе методов обработки сигналов подтверждаются результатами их использования в реальных технических системах автоматизированного контроля и феноменологических исследований различных объектов.

Содержание работы отражено в 59 научных публикациях, основными из которых являются:

1. Домнин Ф.А., Жилияков Е.Г. Ускоренный алгоритмы вычисления корреляционных функций /В кн.Электроника и моделирование, сб.научн.тр., Киев: Наукова думка, 1975, вып.7. с.92-93.
2. Жилияков Е.Г., Шпильберг А.Я. О точности прогноза квантованного по уровню процесса авторегрессии./В кн.Электрические цепи, сигналы, системы. Сб.научн.тр., Киев: Наукова думка, 1979. с.90-96.
3. Жилияков Е.Г. К идентификации дискретных временных рядов по квантованным данным в классе моделей авторегрессии. /В кн.Электрические цепи, сигналы, системы. Сб.научн.тр., Киев: Наукова думка, 1979. с.96-101.
4. Жилияков Е.Г. Некоторые вопросы статистической теории квантования по уровню./В кн.Специализированные вычислительные устройства и их применение. Сб.научн.тр., Киев,

Наукова думка, 1981. С.33-35.

5. Бартеньев В.П., Жиляков Е.Г. О методической погрешности измерения скорости корреляционным методом. // Вестн. Харьк. политехн. ин-та "Элементы и устройства автоматизированных систем управления", 1981, вып. I, № 179. С.64-67.
6. Жиляков Е.Г. Ошибки квантования по уровню при оценивании автокорреляционных функций гауссовских процессов // Проблемы передачи информации, 1982, вып. 3, С.90-94.
7. Жиляков Е.Г. Дисперсия оценки автокорреляционной функции гауссовского случайного процесса по квантованным данным. // Харьк. политехн. ин-т, 1985. Деп. в УкрНИИТИ, 433. УК-85.
8. А.с. № 1168178. Способ измерения отношения сигнал/шум. Терентьев С.Н., Приходько В.Д., Константинова Л.В., Жиляков Е.Г. - Оpubл. в БИ, 1985, № 27.
9. Жиляков Е.Г. Определение интервала времени изменения свойств сигналов с помощью моделей авторегрессии / В кн. Методы анализа в теоретической и прикладной электротехнике, Сб. научн. тр., Киев: Наукова думка, 1986. С.56-63.
10. Жиляков Е.Г., Приходько В.Д. Влияние аналого-цифрового преобразователя на точность оценивания автокорреляционной функции гауссовского сигнала. // Вестн. Харьк. политехн. ин-та "Исследование ионосферы методом некогерентного рассеяния", 1987, вып. 5, № 248. С. 49-52.
11. Жиляков Е.Г., Шпилевский Э.К. Обнаружение изменения свойств процессов авторегрессии при неизвестных параметрах после разладки / В кн. Статистические проблемы управления, 1988, вып. 83. С. 63-68.
12. Жиляков Е.Г. Оценивание параметров гауссовских последовательностей и обнаружение момента времени изменения их величин // IX Всесоюзная НТК "по теории кодирования и передачи информации, Тез. докл., Москва, 1988. С. 281-284.

13. Жилияков Е.Г., Шпилевский Э.К. Статистики максимальной эффективности в задачах обнаружения изменений вероятностных свойств случайных последовательностей // V Международная конференция по теории вероятностей и математической статистике. Тез.докл., Вильнюс, 1989. т.3. С.221-222.
14. Жилияков Е.Г., Габриелян И.Х., Шпилевский Э.К. Алгоритм последовательного обнаружения разладок процессов авторегрессии с использованием автокорреляций остатков/. В кн.Статистические проблемы управления, 1989, вып.85. С.28-46.
15. Жилияков Е.Г. Уравнения правдоподобия для оценок параметров, определяющих ковариационную матрицу гауссовских последовательностей //Проблемы передачи информации, 1989, вып.4. С.103-107.
16. Жилияков Е.Г. Синтез полосовых фильтров с конечной импульсной характеристикой //Всесоюзная НТК "Информационные методы повышения эффективности и помехоустойчивости радиосистем и систем связи". Тез.докл., Ташкент, 1990, С.71.
17. Жилияков Е.Г., Габриелян И.Х. Повышение разрешающей способности метода некогерентного рассеяния.//Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Тез.докл., Харьков, 1990. С.91.
18. Жилияков Е.Г., Коновалов С.В. Обнаружение ионосферных возмущений методом некогерентного рассеяния.//Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Тез.докл., Харьков, 1990. С.110.
19. Алексеев Г.А., Жилияков Е.Г. О численном решении обратной задачи рефракции.//Всесоюзная конференция по распространению радиоволн. Тез.докл., Харьков, 1990. С.221.
20. Жилияков Е.Г., Корсунов Н.Н., Чагода Д.П. Линейная экстраполяция функций при управлении энергосистемами. //Всесоюзная НТК "Математическое моделирование в энер-

- гетике". Тез.докл., Киев, 1990. С.49-51.
21. Жиликов Е.Г. Оценивание параметров процессов скользящего среднего //Автоматика и телемеханика, 1991, № 2, С. 88-96.
  22. Жиликов Е.Г. Об оценивании параметров процессов авторегрессии - скользящего среднего. //Проблемы передачи информации, 1991, вып.2. С. 59-68.
  23. Жиликов Е.Г. Обнаружение ионосферных возмущений при измерениях ее параметров методом некогерентного рассеяния /В кн. Ионосфера. Сб.научн.тр., Харьков, 1991, вып.1. С.88-97.
  24. Жиликов Е.Г., Шпилевский Э.К. Статистики максимальной чувствительности в задаче обнаружения изменений параметров процессов авторегрессии. //Заводская лаборатория, 1992, № 7, С.31-34.
  25. Жиликов Е.Г. Оценка спектра полигармонического сигнала на фоне шума.//Украинская НТК "Вероятностные модели и обработки случайных сигналов и полей" Тез.докл., Черкассы, 1991. С.52.
  26. Жиликов Е.Г., Лагода Д.П. Метод обнаружения слабых полезных сигналов на фоне шумов в атомно-абсорбционной спектроскопии // Журнал прикладной спектроскопии, 1992, № 3. С.467-473.
  27. Жиликов Е.Г. Метод построения ядер обратных операторов для приближенного решения интегральных уравнений типа свертки. //Электронное моделирование, 1992, № 2. С.34-40.
  28. Жиликов Е.Г., Корсунов Н.И., Лагода Д.П. Методы и алгоритмы обработки экспериментальных данных атомно-абсорбционной спектроскопии (монография). Киев: Наукова думка, 1992 г. 122с.

29. Жилияков Е.Г. Метод построения восстанавливающих операторов для уравнений типа свертки //Проблемы передачи информации, 1993, вып. I. С.25-32.
30. Жилияков Е.Г. Об экстраполяции сигналов за пределы интервалов наблюдений. //НТК "Компьютерный анализ данных и моделирование". Тез. докл., Минск, 1992. С.77.

В работах, опубликованных в соавторстве, автору диссертации принадлежат идеи теоретических исследований и их основные результаты.

*Август*

Ответственный за выпуск В.И. Август

Подл. к печ. 13.01.94 Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,0.  
Уч.-изд. л. 2,0 Тираж 100 экз. Зак. № 4819. Бесплатно.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.  
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.

459116

AB 29.157

**AB 29.157**