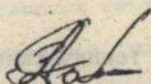


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНИИ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Долгин Владимир Прохорович



УДК 685.513.6

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГАП
НА ОСНОВЕ РАЗНОСТНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ФУНКЦИЯ

- 05.13.01 - управление в технических системах
05.13.07 - автоматизация технологических процессов
и производств в промышленности

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Севастополь 1994



Дисертацією являється

Робота виконана в Севастопольському

інституті

Научний консультант - доктор технічних наук,

професор

Бодянский Евгений Владимирович

О ф и ц и а л ь н ы е о п п о н е н т ы :

Доктор технічних наук, професор

Гарбарчук Владимир Иванович

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Кадук Борис Григорьевич

Доктор технічних наук, професор

Копп Вадим Яковлевич

Видаюча організація : НПО " Муссон ", г. Севастополь

Захита состоится " 17 " февраля 1994 г. в 14.00 на
заседании специализированного совета Д11.03.01
при Севастопольском приборостроительном институте
по адресу: 335053, Севастополь, Студгородок,
Стоелецкая балка, СПИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Севастопольского приборостроительного института

Автореферат разослан " " января 1994 г.

Ученый секретарь

специализированного

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України
Совета канд. техн.
наук, доцент

А.Н. Перешневский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Важнейшей задачей при управлении технологическими производственными системами является обеспечение максимальной эффективности. С одной стороны это достигается методами управления системой, а с другой - обеспечиваются свойства управляемой системы, к которой в этом случае предъявляется требование гибкости. Поэтому решение задач интенсификации производства сопряжено с разработкой методов анализа информации о ходе производственных технологических процессов, используемой для автоматического управления с учетом целей управления и ограничений, характерных для управляемой системы.

Основные элементы гибкого производства разрабатываются уже достаточно давно. Частичная их реализация относится к концу 60-х и началу 70-х годов. Однако только появление высокопроизводительных микро-ЭВМ, обеспечивающих быструю обработку информации при формировании управляющих воздействий, обусловило экономическую целесообразность их применения. Программное обеспечение, основанное на методах математического моделирования, становится основой интеллектуализации управления производством. Технологической базой создания гибких производств явилось внедрение групповой технологии.

Современный этап развития машиностроительного комплекса характеризуется быстрым внедрением принципов адаптивного управления и связан с разработкой подходов, методов и средств адаптации производственных систем в процессе изменяющихся

условий на основе анализа информации о ходе процесса, оценки достоверности его прогноза на базе математических критериев. Концепция гибкого производства, обладающего возможностями изменять свою структуру и технологические параметры, активно разрабатывается в нашей стране (ГПС, ГАП), Японии (FMS), США (FMS, VMS), ФРГ (SFF), Англии (ASP), Франции (AF). В настоящее время основным понятием является гибкая производственная система (ГПС, FMS - Flexible Manufacturing System) - автоматизированная система, под которой понимается совокупность или отдельная единица технологического оборудования и системы обеспечения его функционирования в автоматическом режиме, обладающая свойством автоматической переналадки при производстве изделия произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик. В этой связи актуальной является задача группирования деталей по произвольному сочетанию существенных для ГПС признаков в процессе технологической подготовки производства. Диапазон требуемых значений параметров, определяющих свойства продукции, должен покрываться возможностями производственной системы. В этом случае необходима разработка системы управления, учитывающая возможности технологического комплекса.

Создание системы управления практически любых объектов включает в себя разработку математической модели объекта, определение параметров управляющей системы, техническую и программную реализацию процесса управления. Необходимо учитывать, что большинство технологических объектов представляют собой сложные динамические и стационарные системы со многими степенями свободы, подверженные воздействию ряда внешних и

параметрических возмущений. Процессы в этих объектах мало изучены и работы по их математическому описанию сопряжены с большими трудностями. В большинстве случаев при проектировании системы управления отсутствуют сведения о характере возмущений. Кроме того, задачу синтеза существенно усложняет неоднородность действующих возмущений и наличие запаздываний в каналах управления. В этой связи актуальна задача оценки эффекта возмущаемых факторов на прогноз хода процесса управления и поведение объекта.

К числу таких относятся процессы механос обработки, металлургического, химического производства и т.д. Задержка в формировании управляющих воздействий в процессе регулирования режимов для подобных технологий может привести к необратимым явлениям при выходе контролируемой величины за допустимые пределы, что определяет актуальность поиска быстродействующих алгоритмов обработки информации для оценки состояния процесса в реальной обстановке времени.

Особенностью указанных задач является наличие высокого уровня априорной неопределенности, обуславливающей возможность использования единой методологии при синтезе систем управления таких классов объектов. Проблема управления динамическими объектами в условиях неопределенности является центральной в современной теории управления. Адекватным математическим аппаратом при решении этой проблемы является теория адаптивных систем управления. Тенденция внедрения человеческого программного управления системами, предполагающая широкое использование цифровых методов обработки информации, определяет развитие дискретных адаптивных систем.

Большой вклад в развитие теоретических аспектов анализа и синтеза систем, оказавших влияние на развитие методов адаптивного управления техническими системами внесли работы:

Э.Д. Аведьяна, Б.Д.О. Андерсона, В.А. Астафьева, Е.В. Боянского, И.М. Борзенко, Р. Беллмана, В.Н. Вапника, С.Я. Виленикина, Б. Виттенмарка, А.П. Гавриша, В.М. Глушкова, Д. Гропа, Г. Гудвина, В.И. Иваненко, Р. Изермана, Р. Калмана, Д.В.Кларка, Р.И. Костика, Х.М. Койво, А.А. Красовского, О.Ю. Кульчицкого, Е.М. Куксевича, Ю.Н. Кузнецова, И.Д. Ландау, Р. Ли, Р. Лозано, Л.Львинг, Б.И. Мокина, Ю.И. Неймарка, А.А. Нянуры, К.Ю. Острена, В. Паушки, Н.Н. Перельмана, В. Петерки, С.Т. Поляка, В.С. Пугачева, Г.Е. Пухова, Е.С. Пуховского, Н.С. Райбмана, Л.А. Растрюгина, П.Р. Родина, О.Г. Руденко, П. Рэедка, К.А. Рыбникова, Дж. Саридиса, М.П. Селесеюко, К.С. Сина, В.И. Скурихина, Ю.М. Соломенцева, В.И. Чадеева, П.И. Чинаева, А.А. Фельдбаума, В.Н. Фомина, А.Л. Фрадкова, Я.Э. Цыпкина, П. Эйхсоффа, Н.Б. Ялыкина, В.А. Якубовича и ряда других отечественных и зарубежных ученых.

Основными классами адаптивных систем, следуя современной концепции, можно считать: прямые системы, в которых настраиваются параметры регулятора; не прямые системы, предусматривающие настройку модели объекта по критерию получаемых оценок; квазипрямые системы, включающие адаптивную прогнозирующую модель и позволяющие получать оценку последствий принимаемых решений.

Как показывает анализ, квазипрямые адаптивные системы являются наиболее универсальными, хотя и

предоставляют наименее разработанный класс систем.

Целью настоящей работы является повышение эффективности систем автоматизированных производств за счет увеличения точности и быстроты действия реализации процессов на основе методов адаптивного управления объектами, описываемыми полиномиальными функциями, при априорной неопределенности о использовании настраиваемых управителей.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Синтез алгоритмов идентификации, прогнозирования и управления стохастическими динамическими системами автоматизированных производств (САП).

2. Разработка методик реализации и их алгоритмических описаний на примере систем ЧПУ, а также элементов устройств адаптивного прогнозирования, идентификации и управления объектами, описываемыми конечно-разностными уравнениями с вычисляемыми весовыми коэффициентами при корректном усечении порядка модели на основе настраиваемых управителей с улучшаемыми критериями качества адаптации.

3. Разработка рекомендаций и их внедрение в практику управления САП, обеспечивающее повышение качества технологических процессов за счет эффективного использования информационных ресурсов.

Научная новизна состоит в том, что в результате выполнения данной работы проведено теоретическое обобщение и решена актуальная научная проблема синтеза систем управления стохастическими динамическими объектами на основе настраиваемых управителей, имеющая важное значение при создании интеллектуального обеспечения управления гибким производством непрерывного и дискретно-непрерывного типов в различных отраслях

промышленности. Осуществлена разработка нечеткого и программного обеспечения, а также специализированных устройств для управления процессами в условиях неопределенности, изменения характеристик и воздействия неконтролируемых помех. Обоснован подход повышения достоверности прогноза на основе конечно-разностной схемы анализа. Получены статистические параметры оценок с учетом ограничений на точность представления данных. Предложены алгоритмы корректного усечения модели по критерию хаусдорфа разрешающей способности. Разработаны методы выбора интервала интерполяции, обеспечивающего минимальную ошибку настроенных параметров модели. Показано, что наилучшими статистическими характеристиками обладают модели, построенные на основе рекуррентной процедуры приближения с вычисляемыми весовыми коэффициентами. Рассмотрены частные случаи построения моделей с учетом естественных ограничений, обусловленных спецификой системы. Рассмотрены вопросы оптимизации алгоритмов управления с точки зрения повышения эффективности использования информационных и аппаратных ресурсов вычислительной системы. Сформулированы и доказаны теоремы, следствия и утверждения, определяющие оптимизацию процедур адаптации, статистических оценок параметров управления, эффективность алгоритмов реализации процедур идентификации. Рассмотрены и решены задачи формирования управляющих функций дискретных устройств гибкой системы. Предложен метод корректирующих функций на основе принципов глобальной и локальной коррекции.

Развиваемый подход дает возможность рассмотреть с единой точки зрения безотносительно к физической природе процесса методы решения задач комплексного управления и создания

систем управления технологическими процессами, позволяющие получать решение в реальной масштабе времени по мере поступления информации.

Практическая ценность и реализация результатов. Диссертационная работа выполнена в рамках НИР по плану исследований АН Украины и вузов Минвуза Украины по проблеме повышения качества деталей при механической обработке, утвержденному постановлением президиума АН Украины 590 от 30 декабря 1983 г.

Полученные результаты являются теоретической и методической основой при разработке систем управления стохастическими динамическими объектами в условиях априорной неопределенности. По результатам исследований разработан комплекс алгоритмов и программ, предназначенных для решения прикладных задач проектирования адаптивных систем управления технологическими процессами, исследования свойств динамических систем и отдельных звеньев в процессе настройки и эксплуатации. Предложена аппаратная реализация функциональных узлов, представляющих собой специальные вычислительные устройства.

Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертации, учебных пособиях, статьях и изобретениях автора, использованы при подготовке и чтении курсов "Математические основы кибернетики", "Теория автоматического управления", "Вычислительная техника, программирование и математическое моделирование" департамента "Системы автоматизированных производств" Севастопольского приборостроительного института.

Научные и практические результаты в виде алгоритмов, программ и технических решений прошли апробацию и используются

при решении задач проектирования и управления технологическими процессами и объектами ПО "Маяк", п/я М-5613, Мелитопольского моторного завода и др.

Экономический эффект от внедрения результатов работы составляет 240 тыс. руб. в ценах до 1991 г. Копии актов о внедрении приведены в приложениях к диссертационной работе.

На защиту выносятся:

1. Метод синтеза оптимальных настраиваемых упреждающих стохастических управляемых процессов автоматизированных производств на основе разностной схемы приближения функций при оптимизации критерия качества адаптации.

2. Метод синтеза квазилинейных алгоритмов адаптивного управления на основе настраиваемых рекуррентных фильтров с использованием W , Q - коэффициентов и D - разложения.

3. Метод синтеза линейных форм системы переключаемых функций на основе концепции глобальной коррекции.

4. Алгоритмы диагностики, идентификации и анализа качества систем управления.

5. Программная, аппаратная и промышленная реализация результатов исследований.

Апробация работы.

Основные научные положения и результаты диссертации доложены, обсуждены и одобрены на международных, всесоюзных, республиканских и отраслевых конференциях и семинарах, в том числе на: Всесоюзной конференции "Электрохимические преобразователи информации" (Казань, 1970), Научно-технической конференции городов Поволжья "Статистическая радиопизика и радиозлектроника" (Казань, 1971), Всесоюзной конференции

"Электрохимические преобразователи информации" (Ереван, 1972), Всесоюзной конференции "Динамическое моделирование сложных систем" (Москва, 1982), Всесоюзной конференции "Внедрение роботизированных комплексов и гибких автоматизированных производств в механообрабатывающих и сборочных производствах" (Севастополь, 1986), Всесоюзной конференции "Создание ГПС механической обработки и промышленных роботов" (Киев, 1986), Республиканской конференции "Повышение производительности и качества продукции в условиях ГАП" (Севастополь, 1988), Всесоюзной конференции "Автоматизация механооборочных процессов в машино- и приборостроении" (Москва, 1989), Республиканском семинаре "Статистический синтез и анализ информационных систем" (Севастополь, 1991), в Международной школе "Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами" (Харьков; Туапсе, 1992), Республиканской конференции "Прогрессивная технология машиностроения" (Днепропетровск, 1992), Международная конференция "Проблема экологического мониторинга и охраны труда" (Севастополь, 1993), семинарах Научного Совета АН Украины по проблеме "Теоретическая электротехника и моделирование" (Киев; Севастополь, 1984-1991) и др.

Публикации

Основные научные положения диссертации опубликованы в монографии, учебных пособиях, научных статьях, 20 изобретениях и ряде отчетов по НИР.

Объем работы

Основной текст диссертации изложен на 319 машинописных страницах. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, выводов и рекомендаций, списка использованной литературы и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель работы и дается ее краткая характеристика, в том числе излагается научная новизна, полученные новые результаты и основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе с позиции абстрактной теории систем рассматривается технологический производственный процесс и обсуждаются возможные уровни абстракции. На основе цепочки гибкого автоматического производства рассматриваются общие принципы управления в условиях неопределенности. Проведен критический обзор принципов управления системами ЧПУ, базирующийся на методах прямой и обратной интерполяции проекций траектории процесса по управляемым координатам технологической системы. Показано, что наиболее широкими функциональными возможностями обладают дискретные системы управления, основанные на принципе конечно-разностного представления динамики процесса. Рассматривается граница абсолютной погрешности конечно-разностного приближения, что позволяет сформулировать требования точности измерительной системы на основе байесовского подхода в условиях дискретного представления информации о ходе процесса. Обосновывается алгоритм реализации дискретной модели процесса и его возможные модификации.

Во второй главе рассматривается задача синтеза оптимального упреждателя адаптивной системы ЧПУ. На основе анализа полноклиальной модели процесса исследуются составляющие погрешности при различных методах экстраполяции. Определяется погрешность дискретизации как аддитивная случайная, распределенная

а) в интервале, зависящем от свойств принятой системы счисления. На основе анализа обобщенной экстраполяционной формы предлагаются алгоритмы настройки полиномиальной модели процесса

$$A_j = (-1)^j \prod_{i=j}^N (-1)^i D(Y) W(j, i),$$

где $D(Y)$ - разделенные разности,

$$W(j, i) = \begin{cases} 0, & \text{если } j < 0; \quad i < 0; \quad i > j, \\ 1, & \text{если } i = 0 \text{ и } j = [0, N], \\ W(j-1, i) + W(j, i-1) X & \text{иначе.} \end{cases}$$

$j+1-1$

Рассматриваются модификации экстраполяционной формы и возможные алгоритмы их реализации при построении упреждений. Вводится обобщение описания биномиальных коэффициентов, расширяющее область их определения

$$C_N^K = N! \left[\prod_{i=1}^K (i + E) \prod_{j=1}^{N-K} (j - E) \right]^{-1} \frac{\sin(\pi E)}{\pi E},$$

где $K = k + E$ - вещественное, N - целое, $E < 1$.

Рассматривается структура внешнего контура адаптации, обосновывается алгоритм оптимизации критерия качества адаптации на основе анализа традиционных подходов.

Анализируются надежность критерия и его статистические характеристики. Приводятся оценки погрешности вычисления параметров модели: вероятная $M(E)$, среднеквадратическая $D(E)^{1/2}$ и накопительная $B(E)$. Показано, что математическое ожидание погрешности параметра равно нулю,

$$B(E) = 4(B - A) \prod_{i=0}^N F(X) \prod_{j=0}^{N \setminus 2} (F(X))^{-1}_{i \ 2j},$$

$$D(E) / D(e) = \prod_{i=0}^N \prod_{j=0}^i (F(X) / F(X))_{i \ j}^2,$$

где B, A - границы интервала распределения погрешности в задании ординат процесса, $D(\epsilon)$ - дисперсия, $F(X)$ и $F(X)$ - функции представления обобщенной экstrapоляционной формы. В доказательство справедливости и полученных оценок рассматриваются частные случаи и результаты имитационного моделирования.

Третья глава посвящена вопросам синтеза одноагентового упреждителя. При дискретном управлении, характерном для систем ЧПУ, естественной является задача оценки состояния процесса на очередной шаге. В этой связи рассматриваются две подзадачи, возникающие в рамках проблемы синтеза адаптивных систем, критериальной и аргументной оптимизации.

Показано, что максимального эффекта можно добиться при объединении подходов. Освещены вопросы синтеза математических моделей объектов и алгоритмов идентификации в адаптивных системах управления. При смене подходе задача построения математической модели сводится к выбору ее структуры и оценки параметров таким образом, чтобы соблюдалось условие близости в некотором смысле модели исследуемому процессу. Это же требование должно распространяться и на результаты прогноза выходной переменной при изменении входных. С этой целью исследованы различные алгоритмы численного параметриза модели, позволяющие реализовать рекуррентные вычислительные процедуры вида

$$A = \left(R(Y(X)) - \sum_{i=M+1}^N A R(X) / M! N \right)$$

где $R(Y(X))$ - конечная разность M -го порядка

функции $Y(X)$ порядка N ,

$$R(X) / M! N = \sum_{k=M}^N \frac{(-1)^{k-M}}{C N} X^k S_{i-k}^M,$$

S - числа Стирлинга второго рода, N - шаг по аргументу,
 k - нижняя граница интервала интерполяции.

Рассмотрена задача приближения со стороны младших членов разложения. Проведен анализ погрешности E_k определения k -го параметра, позволяющий получить требуемую оценку

$$E_k = (-1)^{N-k} \sum_{i=0}^{N-k} \frac{(-1)^i}{i!} \sum_{j=0}^k \frac{(-1)^j}{j!} C_{N-j}^i / L_{N-i}^{j+1},$$

где $L_N^i = (-1)^{N-j} \sum_{m=0}^{N-j} \frac{(-1)^m}{m!} C_{n-j}^m / X^m$.

Рассмотрена задача выбора оптимального интервала приближения.

Показано, что при $X = -M/2$ упрощается процедура вычисления параметров модели и снижается погрешность определения

$$A = R_N(Y(X)) / M! N - \sum_{i=M+1}^N \frac{A_i q_i}{i!},$$

где $q_i = (-1)^i \sum_{k=0}^i \frac{(-1)^k}{k!} C_N^k S_{i-k}^M$.

могут рассматриваться как коэффициенты со свойствами

$$q_i = \frac{1}{M!} \sum_{j=0}^i \frac{(-1)^j}{j!} (M/2 - j)^i C_M^j$$

при M и i одновременно четных или нечетных. Показано, что q есть правые треугольные матрицы с нулевыми значениями в определенных случаях: при четных (M и нечетных) M и нечетных (M и четных) i . Приводится решение, полученное с помощью полученных результатов, ряда задач, связанных с исследованием устойчивости, динамической диагностики,

оценкой и коррекцией качества системы, упрощении процедур получения частотных характеристик и построения переходных. Особые вопросы синтеза алгоритмов функциональной идентификации на основе рекуррентных процедур, снижающих эффект осцилляции. Представляются более перспективными алгоритмы, использующие параболические интерполяции, которые при корректном усечении приближаемого полинома выполняют роль своеобразного фильтра, приводя к упрощению процедуры идентификации в форме бинарных рекуррентных соотношений вида

$$C(\omega) = \frac{1}{\omega} \sum_{i=0}^m A_i IC_i(t) \quad ,$$

$$B(\omega) = \frac{1}{\omega} \sum_{i=0}^m A_i IS_i(t) \quad ,$$

$$\text{где } IC_i(t) = \int_0^{t_0} t^n \cos(\omega t) dt \quad ,$$

$$IS_i(t) = \int_0^{t_0} t^n \sin(\omega t) dt \quad ,$$

$n = [0, m]$; m - порядок приближаемого полинома, $[0 - t_0]$ - интервал приближения; A_i - коэффициенты полинома.

Приведенный алгоритм эффективен при ограниченном числе данных для оценки качества корректоров, фильтров, упреждителей, адаптивных устройств предсказания и других элементов систем управления.

Четвертая глава посвящена вопросам синтеза адаптивных алгоритмов идентификации. В большинстве практических задач отсутствует априорная информация о параметрах дрейфа неизвестных параметров. Это обуславливает необходимость разработки алгоритмов идентификации, сохраняющих рабо-

тоспособность в широком диапазоне изменения параметров. Следствием отсутствия априорной информации о законе дрейфа параметров является запаздывание в оценке изменения параметров.

При дрейфе параметра будет изменяться его оценка. Приняв относительный критерий оценки в виде

$$z = \frac{|\bar{Q}_n - \bar{Q}_m|}{|\bar{Q}_n| + |\bar{Q}_m|},$$

где \bar{Q}_n - оценка параметра по n предыдущим измерениям, \bar{Q}_m - оценка параметра по m текущим измерениям, получим характеристики критерия

$$z = \begin{cases} 1, & \text{если } \text{SGN}(\bar{Q}_n) \neq \text{SGN}(\bar{Q}_m), \\ 0, & \text{если } \bar{Q}_n \approx \bar{Q}_m. \end{cases}$$

Это позволяет ввести оценку параметра, зависящую от скорости его дрейфа в виде

$$\hat{Q} = \frac{F(z) \bar{Q}_n + f(z) \bar{Q}_m}{F(z) + f(z)},$$

где $F(z)$ и $f(z)$ - весовые функции.

При соответствующем выборе функций предельные значения оценки параметра будут

$$\hat{Q} = \begin{cases} \bar{Q}_n, & \text{если } z = 0, \\ \bar{Q}_m, & \text{если } z \rightarrow 1, \end{cases}$$

где значение $z = 0$ соответствует случаю, когда параметр не изменяется / $\bar{Q}_n = \bar{Q}_m = \bar{Q}$ /, а $z \rightarrow 1$ характерно при скачкообразном его изменении. Выбор вида функций $F(z)$, $f(z)$ и способа оценки параметра определяет характер слежения за дрейфом параметра.

Получение оценки параметра связано с выбором метрики.

Рассмотрена задача выбора метрики при оценке предельной ошибки прогноза по конечно-разностной схеме. Показано, что граница погрешности суммы в конечных разностей n -го порядка определяется выражением

$$G_n(E) = E \sqrt{\frac{R}{i=0}} + \sqrt{\frac{m}{j=0}} (-1)^j C_{n-k}^{i-j},$$

где $R = n + m$, k - весовые коэффициенты суммирования конечных разностей, E - максимальная погрешность задания ординат процесса. Показано, что при $k = 1$ выражение для границы погрешности приводится к виду

$$G_n(E) = \begin{cases} 2E \sqrt{\frac{m/2}{j=0}} C_n^k & \text{при } m/2 < n/2, \\ E 2^n & \text{при } m \geq n, \quad m/2 = n/2, \end{cases}$$

где $k = n/2 + m/2 - 2j$,

откуда следует условие минимума погрешности при $m = 1$.

Доказан ряд теорем, утверждений и следствий, определяющих закон изменений $G_n(E)$ для различных соотношений n и m .

Значение $G_n(E)$ зависит только от разности распределения шумовой составляющей и представляет собой универсальную оценку, не зависящую от закона распределения и характера случайной ошибки. Показано, что $G_n(E) = G_m(E)$ при $m \geq n$.

Поэтому метод суммирования конечных разностей может быть рекомендован для построения рекуррентных фильтров с улучшенными характеристиками подавления шумовой составляющей.

Проанализированы параметры распределения случайной погрешности суммы конечных разностей. Показано, что математическое ожидание суммы погрешностей конечных разностей равно нулю.

Получено выражение для дисперсии случайной составляющей погрешности в свернутом виде:

$$D(E)/D(e) = 2 \left(C_{2(n-1)}^{n-1} + (-1)^m C_{2(n-1)}^{n+m} \right),$$

где $D(e)$ — дисперсия погрешности муловой составляющей сигнала. Представляется, что дисперсия является менее универсальной критериальной оценкой из-за необходимости введения предположения об одинаковом законе распределения независимых случайных погрешностей задания текущих значений ординат траектории, необходимых для вычисления конечных разностей при идентификации процесса. Показано, что для произвольных значений весовых коэффициентов k выражение дисперсии погрешности суммированных конечных разностей можно представить в виде

$$D(E)/D(e) = \sum_{i=0}^R \left(\sum_{j=0}^m (-1)^j C_n^{i-j} k_j \right)^2,$$

где $R = n + m$. Рассматривая $D(E)/D(e)$ как функцию k_j , можно найти условие минимума

$$\sum_{i=0}^R C_n^{j-i} \sum_{j=0}^m (-1)^j C_n^{i-j} k_j = 0; \quad q = [0, m].$$

Ввиду близости форм описаний $C_n(E)/E$ и $D(E)/D(e)$ условие минимума выполняется одновременно и для $C_n(E)/E$. Ортогонализация выражения позволяет свести условие минимума функции k к виду

$$\sum_{j=0}^m (-1)^j C_{2n}^{n-q+j} k_j = 0,$$

где $C_{2n}^{n-q+j} = C_{2n}^{n-q+j}$, $q = [0, m]$,

известно матричное представление при

$$C_{jq} = \begin{pmatrix} / & n & & m & n-m & \backslash \\ | & C_{2n} & & (-1) C_{2n} & & | \\ | & & & & & | \\ \hline | & n+m & & m & n & | \\ | & C_{2n} & & (-1) C_{2n} & & | \\ \backslash & & & & & / \end{pmatrix}.$$

Полученные соотношения позволяют выбирать весовые коэффи-

циенты, минимизирующие риск определения параметров с максимальной ошибкой. Кроме того, с уменьшением дисперсии сужаются и границы распределения погрешности, что повышает точность идентификации. Показано, что процедура минимизации способствует центрированию распределения погрешности.

В пятой главе рассмотрены задачи синтеза переключа-
тельных функций управления режимами дискретных устройств
технологической системы на основе представлений прикладной
теории цифровых автоматов. Изложены вопросы, касающиеся
аналитического описания структуры системы управления и
минимизации системы переключаемых функций, позволяющие
предложить методику синтеза управляющего автомата. Обращено
внимание на процедуру корректного доопределения в условиях
априорной избыточности состояний автомата. Рассмотрены
вопросы повышения структурной надежности системы управления
режимами, основанные на принципах глобальной и локальной
коррекции. Предложен алгоритм синтеза и минимизации системы
переключаемых функций, базирующийся на представлении имп-
ликантных матриц в форме Вейч-кортежа. Рассмотренные подходы
и принципы упрощают алгоритм описания системы переключе-
тельных функций и минимизируют структуру управляющей
системы. Методика синтеза управляющего автомата позволяет
найти корректное решение среди подмножества тождественных
минимальных форм благодаря возможности включения в множество
доопределения описаний запрещенных состояний системы с
последующим исключением нежелательных следствий допре-
деления посредством синтеза корректирующих функций.

В шестой главе рассмотрены вопросы практического применения полученных в работе результатов. Аппаратурная реализация исследованных в работе алгоритмов, основанных на разностном приближении функций, описывающих процесс, заключается в разработке специализированных устройств, предназначенных для управления конкретными технологическими процессами. Технические решения, на основе которых реализованы устройства, зарегистрированы в качестве изобретений, что подтверждается 20-ю авторскими свидетельствами. Разработанные алгоритмы явились методологической основой при разработке ряда устройств цифрового, аналогового и цифро-аналогового управления, прошли промышленные и лабораторные испытания на заводе им. Калинина (г. Киев), в 1523 повепочной лаборатории КЧФ (г. Севастополь), на Актыбинском заводе хроновых соединений (г. Актыбинск), экспонировались в виде функциональных устройств широкого назначения для систем автоматического управления и контроля на ВДНХ СССР и отмечены бронзовой медалью, использованы в качестве методологической основы оптимизации технологических процессов и организации управления на ПО "Маяк" (г. Севастополь), на п/я М-5613 (г. Раменское Московской обл.), отделом автоматизированных систем управления Мелитопольского моторного завода (г. Мелитополь) и других, о чем имеются соответствующие копии документов в приложении к диссертации.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты исследования и изложены рекомендации по дальнейшей разработке и использованию развиваемого подхода.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Проанализированы модели описания процессов механической обработки, позволяющие решать прямую и обратную задачи интерполяции. Показано, что конечно-разностная схема обладает потенциальными преимуществами, позволяя упростить структуры систем управления, измерения динамических параметров, повысить точностные показатели и сократить время обработки информации о ходе процесса. При естественных ограничениях получена оценка предельной абсолютной аддитивной составляющей погрешности разностной схемы и с использованием байесовского подхода сформулированы требования к точности измерительной системы. Предложено описание погрешности дискретности при заданной длине наименования слова.

2. На основе анализа обобщенной экстраполяционной формы получено описание параметров непрерывной модели. Рассмотрены модификации экстраполяционной формы, позволяющие осуществлять переход от дискретного описания к непрерывному. Это дает возможность предложить структурные варианты реализации контура адаптации, основанные на различных методах приближения, и алгоритмы оптимизации критерия качества. Показано, что при выборе класса модели в условиях представления данных со случайной погрешностью можно уменьшить зависимость критерия от параметров истинной модели при использовании конечно-разностного описания процесса.

3. Проанализированы алгоритмы параметрической идентификации. Предложен алгоритм идентификации, основанный на

полиномиальной приближении со стороны младших членов разложения. Получены выражения для оценки погрешности, позволяющие рекомендовать алгоритм при исследованиях системы в режимах, близких к установившимся.

4. Исследованы вопросы оптимизации процедуры приближения с использованием разложения по коэффициентам Стирлинга второго рода. Найдены условия минимума погрешности приближения и выбора интервала интерполяции. Предложен алгоритм приближения с коэффициентами правой треугольной матрицы решетчатого типа, реализующий введенное обобщение понятия оптимального интервала приближения полиномиальной функции.

5. Рассмотрены задачи расширения выхода модели на основе обобщенного подхода к производной полиномиальной функции; исследования устойчивости системы при произвольном задании характеристического уравнения, динамической диагностики системы и алгоритмы их решения на основе предложенного метода D - разложения дискретно заданной функции.

6. Проанализированы алгоритмы функциональной идентификации в частотной и временной областях. К серьезным осложнениям при исследовании систем приводит эффект осцилляции, являющийся следствием неточности данных и приближенными процедурами анализа. Показано, что одним из путей преодоления затруднений является оптимальная интерполяция, выполняющая роль своеобразного фильтра. Предложенный метод бинарной рекуррентной интерполяции позволит упростить алгоритм вычислений за счет свертки алгоритмов члененного интегрирования, что одновременно приводит к повышению точности.

7. Рассмотрены вопросы оценки параметров нестационарных стохастических объектов. При параметрической идентификации возникают осложнения в разделении регулярной и случайной составляющих.

На основании установления компромисса между фильтрующей и следящими свойствами алгоритма производится управление памятью по результатам настройки параметров. В качестве критерия установления компромисса принимается скорость изменения оценки параметра. Показано, что независимо от разделения данных для оценок текущего и предшествующего значений, процесс достижения асимптотического значения параметра остается монотонно сходящимся.

8. Предложен метод преобразования метрического пространства, эффективный для задач прогноза при оценке максимально возможной случайной погрешности, возникающей при конечно-разностном приближении процесса, что позволило получить выражения для границы погрешности сумм конечных разностей. Показано, что граница погрешности сумм числа конечных разностей, превышающего или равного порядку приближаемого полинома, постоянна. Полученные результаты обобщают подходы построения рекуррентных алгоритмов разностного приближения, основанных на свойствах центральных разностей и средних значений.

9. Показано, что подход, использующий в качестве критерия оценку максимально возможной погрешности, оптимизирует алгоритм адаптации, обеспечивая корректное усечение приближаемого полинома. Доказанные свойства сумм конечных разностей случайных погрешностей представления ординат процесса, позволяет снизить ошибки процедур идентификации. На основе обобщения подхода Хеллингга получены условия минимизации погрешности при суммировании конечных разностей с произвольными значениями весовых коэффициентов. Предложена

методика ортогонализации матриц, определяющих оптимальный выбор весовых коэффициентов.

10. Проанализированы основные затруднения, возникающие при синтезе переключательных функций, описывающих элементы дискретных систем управления. На основе предложенной концепции коррекции рассмотрены пути получения минимальных форм системы переключательных функций. Приведена методика минимизации по входу и рассмотрены конкретные подходы к реализации описанной системы.

11. Разработаны программы, алгоритмы и технические решения, реализующие предложенные в диссертации теоретические выводы и предложения.

12. Экономический эффект от внедрения результатов работы составляет 240 тью. руб. в ценах до 1991 г.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Долгий В.П. Адаптивные модели в системах управления технологическими объектами. Монография. - К.: Учебно-методический кабинет высшего образования Украины, 1993.-140с.

2. Долгий В.П. Решение задачи приближения функций при анализе систем механической обработки. - К.: Знання, 1992.- 24 с.

3. Долгий В.П. Алгоритмизация процессов группирования деталей при подготовке автоматизированного производства. К.: Знання, 1988.- 22 с.

4. Долгин В.П. Конечно - разностная модель приближения функций методом D - разложения // Электронное моделирование. - 1993. - Т.15. - № 3. - с.9-12.
5. Долгин В.П., Смирнов охемы управления коробкой скоростей токарного станка // Станки и инструмент. - 1992. - №6. - с.12-15.
6. Долгин В.П. Пороговые устройства // Приборы и системы управления. - 1974. - № 11. - с. 36-38.
7. Долгин В.П., Старобинская Л.П. О возможности улучшения алгоритма дихотомического поиска по совпадению мал интервалу при решении задач управления // Кибернетика на морском транспорте. - К.: Техника, 1980. - 9. - с. 37-40.
8. Долгин В.П. Микро - импульсный сумматор // Инерционная техника. - 1975. - № 3. - с.30 -32.
9. Долгин В.П. Микро - импульсный модулятор // Микроэлектроника. - Казань. , 1972. - Вып.7. - с. 106-111.
10. Долгин В.П. Цифровая модель автомата управления режимными механообработкой // Электронное моделирование. - 1991. - Т.13. - № 5. - с.88-90.
11. Долгин В.П. Динамическая диагностика систем механообработки // Динамические системы. Межведомственный научный сборник. - К.: Амбидь, 1992. - Вып.11. - с. 43-47.
12. Долгин В.П. Модель системы ЧПУ механообработкой // Динамическое моделирование основных систем. Тез. докл. всео. научно-техн. конф. - М., 1982. - с. 72-73.
13. Долгин В.П. Приближение функции методом приращения конечных разностей / Деп. в УкрНИИТИ, № 1747 - Ук85, 1985. - 20 с.

14. Долгин В.П. Вычисление коэффициентов разложения методов усечения приближающей функции // Деп. в УкрНИИТИ, N 2455 - Ук85, 1985. - 25 с.
15. Долгин В.П., Радзимевский К.О. Кусочно-многочленное приближение полиномаи Бернулли / Деп. в УкрНИИТИ, N 366-Ук85, 1985. - 23 с.
16. Маслов С.В. Долгин В.П. Повышение эффективности работы гибкой производственной системы за счет сквозного программирования цикла обработки / Деп. в УкрНИИТИ, N 2323 - Ук86, 1986. - 5 с.
17. Долгин В.П. Аппарат приближения функций при решении задач контроля и управления процессами механообработки / Деп. в УкрНИИТИ, N 1517 - Ук86, 1986. - 18 с.
18. Наунов А.К., Долгин В.П., Богданова Т.Н. Конпоновка гибких производственных линий и систем по технологическим признакам // Внедрение роботизированных комплексов и гибких автоматизированных производств в механообрабатывающих и сборочных производствах. Тез. докл. - Севастополь, 1986.- С.24-25.
19. Долгин В.П. Разрешающая способность процесса восприятия монохромных изображений // Автоматизация обработки первичных данных. - Пенз. политех. ин-т, 1987.- Вып. 12.- С.131-135.
20. Долгин В.П. Динамическая модель системы ЧПУ механообработкой // Повышение производительности и качества продукции в условиях ГАП : Тез. докл. - Севастополь, 1988.- С.37.

21. Долгин В.П. Использование аппарата приближения функции для решения задач контроля и управления процесса механической обработки // Создание ГПС механической обработки и промышленных роботов : Тез. докл. - К., 1986.- С. 15-17.

22. Долгин В.П. Повышение эффективности решения задач контроля и управления системами ЧПУ // Автоматизация механо-сборочных процессов в машино- и приборостроении: Тез. докл. всеос. научно - техн. конф. - М., 1989.- С.81.

23. Долгин В.П. Статистическая оценка погрешности аппроксимации процесса // Статистический синтез и анализ информационных систем: Тез. докл. реоп. семинара.- Севастополь.- 1991.- С.54.

24. А.С. 652496 СССР, МКИ:G01 R 19/04, G05 И 13/02. Цифровой указатель экстремумов / Долгин В.П. - БИ, 1979, N 10.

25. Долгин В.П. Усечение модели полиномиального представления процесса системы ЧПУ механообработкой // Прогрессивная технология машиностроения: Тез. докл.- Днепропетровск, 1992.- С.50-51.

26. Долгин В.П. Синтез внешнего контура адаптивной системы управления режимом механообработки // Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами: Акт. докл. Междунар. шк.- Харьков; Туапсе, 1992.- С.11-12.

27. Долгин В.П. Структурный синтез разностного фильтра // Інверсійні моделі та обробка випадкових сигналів і полів: Зб. наук. праць.- Харків, 1992.- Ч.2.- С.75-79.

28. Долгин В.П. Структурный синтез автомата управления режимами технологической системы / Деп. в УкрИНТЭИ, N 1234-Ук 92, 1992.- 41 с.
29. Долгин В.П. Адаптивная система управления / Крымский ЦНТЭИ.- Симферополь, 1992.- N 100-92.
30. Долгин В.П. Синтез рекуррентного фильтра / Деп. в УкрИНТЭИ, N 1773-Ук 92.- 8 с.
31. Долгин В.П. Анализ качества системы управления технологическим процессом / Деп. в УкрИНТЭИ, N 2099-Ук 92.- 31 с.
32. Долгин В.П. Синтез одноагентового предиктора адаптивной системы ЧПУ / Деп. УкрИНТЭИ, N 1209-Ук 92, 1992.- 22 с.
33. Долгин В.П. Решение задачи контроля и управления системой ЧПУ методом разностного приближения функции / Деп. в УкрИНТЭИ, N 1210- Ук 92, 1992.- 23 с.
34. Долгин В.П. Синтез оптимального предиктора системы ЧПУ / Деп. в УкрИНТЭИ, N 1208- Ук 92, 1992.- 43 с.
35. Долгин В.П. Аппарат приближения функций при решении задач контроля и управления процессами механообработки / Деп. в УкрИНТИ, N 1517-Ук 86, 1986.- 18 с.
36. Долгин В.П. Синтез разностного фильтра контура адаптации // Проектирование автоматизированных систем контроля и управления сложными объектами: Анн. докл. междунар. шк.- Харьков;Туапсе, 1992.- С.11.
37. Долгин В.П. Параметрическая идентификация на основе разностного приближения // Проблема экологического мониторинга и охрана труда: Материалы международной научно-техн. конф. Севастополь, 1993. - С. 53-54.

38. А.С. 598219 СССР МКИ Н 03К 1/16. Управляющий генератор прямоугольных импульсов / Долгин В.П. - БИ, 1978, № 10.

39. Долгин В.П., Фим М.А., Ходжакиц В.М. Основы расчета частотно - импульсных устройств интегральной оценки на хинотронных интегрирующих тетрадах // Докл. АН Арийской ССР.- Серия техн. наук.- Том XXI.- 1968.- № 6.- С.3-10.

40. Долгин В.П. Хинотронно-транзисторные нелинейные преобразователи // Статистическая радиофизика и радиоэлектроника: Тез. докл. Научно-техн. конф. Поволья, 1971.- с.65.

41. Долгин В.П. Электрохимические интеграторы в преобразователях контрольно - измерительных устройств // Электрохимические преобразователи информации: Тез. докл. всеос. конф.- Ереван, 1972.-т С.39.

42. А.С. 769531 СССР, МКИ G06 F 7/00. Устройство для анализа экстремальных значений числа / Долгин В.П., Заплатин А.Г. - БИ, 1981, № 37.

43. Долгин В.П. Электрохимические интеграторы в схемах автоматики // Электрохимические преобразователи информации: Тез. докл. всеос. конф. - Казань, 1970.-С.44.

459134

1829-153
AB 29.153