

ЕСКЕНДИРОВА ДАМЕЛЯ МАКСУТОВНА

**Модели и методы синтеза динамических частотно-импульсных систем
автоматического управления**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Республика Казахстан
Алматы, 2010

Работа выполнена в Казахском национальном техническом университете имени К.И.Сатпаева.

Научный руководитель: доктор технических наук
Айтчанов Б.Х.

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Утепбергенов И.Т.

кандидат технических наук
Хисаров Б.Д.

Ведущая организация: Южно-Казахстанский
государственный университет им.
М.Ауезова

Защита состоится «28» октября 2010г. в 16.00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д14.13.03 при Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева по адресу: Республика Казахстан, 050013, г.Алматы, ул. Сатпаева 22, нефтяной корпус, конференц - зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева

Автореферат разослан « ___ » сентября 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Г.З.Казиев

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Повышение эффективности и надежности систем управления технологическими процессами важнейший фактор значительного роста производительности труда и существенного повышения качества продукции.

Одним из наиболее перспективных способов передачи и переработки информации является динамическая частотно-импульсная модуляция (ДЧИМ). Включение динамического частотно-импульсного модулятора в контур управления в качестве управляющего устройства придает ей новые свойства и открывает широкие возможности для ее оптимизации при сохранении простоты технической и алгоритмической реализации.

В настоящее время разработаны методы параметрического синтеза частных видов динамических частотно-импульсных систем автоматического управления. Однако проведение структурного синтеза данного класса систем (определение структуры управляющего устройства) наталкивается на трудности математического и вычислительного характера.

В этой связи разработка математических моделей и методов синтеза систем автоматического управления технологическими процессами, реализованных в классе систем с ДЧИМ, ориентированных на решение широкого спектра прикладных задач автоматизации и управления, является весьма актуальной.

Данная работа выполнена на кафедре технической кибернетики в соответствии с фундаментальной тематикой.

Цель исследований. Цель настоящей работы заключается в разработке метода структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления использующего алгоритмы распознавания образов; в разработке вычислительных алгоритмов и комплекса программ для структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления; в построении вольтерровских и статистически линеаризованных моделей динамических частотно-импульсных систем автоматического управления; в разработке методов параметрического синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления на основе вольтерровских и статистически линеаризованных моделей; в разработке вычислительных алгоритмов и комплекса программ для параметрического синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления; разработке и опытно-промышленном испытании подсистемы непосредственного цифрового частотно-импульсного управления перепуском электродов в руднотермической печи.

Методы исследования. В ходе решения поставленных в диссертационной работе задач использовались методы теории функциональных разложений, теории автоматического управления нелинейными системами, методы теории распознавания образов и методы имитационного моделирования.

Научная новизна результатов исследования заключается в разработке метода структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления, отличающиеся от ранее существовавших тем, что структура оператора управляющего устройства формируется в классе функциональных рядов Вольтера, вычисляются информативные признаки оператора ДЧИМ модулятора и синтезируемая структура оператора модулятора классифицируется с использованием алгоритмов распознавания образов.

Построены вольтерровские и статистически линеаризованные модели системы и на их основе разработаны методы параметрического синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления, отличающиеся друг от друга точностью и степенью трудоемкости вычислительных процедур. Впервые разработана инженерная методика синтеза подсистемы непосредственного цифрового частотно-импульсного управления перепуском электродов в руднотермической печи.

Достоверность полученных результатов. Научные положения, выводы и рекомендации обоснованы математическими выкладками и результатами, которые подтверждаются экспериментальными результатами работы компьютерных программ.

Практическая ценность. Разработанные в диссертационной работе методы и алгоритмы синтеза использованы при разработке подсистемы непосредственного цифрового частотно-импульсного управления перепуском электродов в руднотермической печи. Акт об опытно-промышленных испытаниях приведен в Приложении.

Положения, выносимые на защиту:

- метод структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления, использующего алгоритмы распознавания образов, состоящий из этапов формирования структуры динамических частотно-импульсных модуляторов в классе функциональных рядов Вольтерра, вычисление информативных признаков и классификации синтезируемого оператора структуры ДЧИМ к одному из сформированных классов;

- методы параметрического синтеза оптимальной по среднеквадратичному критерию качества динамических частотно-импульсных систем автоматического управления, полученные как на основе вольтерровских так и статистически линеаризованных моделей;

- алгоритмы и комплексы программ структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления, полученные как на основе вольтерровских так и статистически линеаризованных моделей;

- разработка синтеза подсистемы непосредственного цифрового частотно-импульсного управления перепуском электродов в руднотермической печи.

Внедрение результатов исследования. Выполненные в диссертационной работе исследования проводились в соответствии с планом госбюджетных работ кафедры «Техническая кибернетика» КазНТУ им. К. Сатпаева, г. Алматы - Грант программы фундаментальных исследований МОН РК - Ф.0351 по теме «Разработка моделей и методов компьютерной имитации случайных параметров и процессов ближнего космоса».

Результаты работы внедрены в структурных подразделениях ТОО «Казфосфат», а также использованы при разработке лабораторных работ по дисциплинам: «Теория нелинейных автоматических систем», «Автоматизация технических систем» кафедры «Инженерная кибернетика» Алматинского института энергетики и связи для студентов специальности 050702 – Автоматизация и управление, при исследовании диалоговой системы КазНТУ им. К.Сатпаева.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на международных конференциях: Международной научно-практической конференции «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». - Алматы, 2008; Международной научно-практической конференции «Химия в строительных материалах и материаловедение в XXI веке» Шымкент, 2008; Of the International Scientifically and Practical Conference “International Innovation: Technologies: Integration of Business, Education and Science ” dedicated to the 75-th Anniversary of the KazNTU named after K. Satpaev.-Almaty, 2008; на научных семинарах кафедры «Техническая кибернетика» КазНТУ им.К.Сатпаева в 2008-2009 гг.

Публикации. Основные, вынесенные на защиту, научные результаты опубликованы в 8 печатных работах в изданиях, рекомендованных для публикации положений диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, в том числе центральных научных журналах – 3, в материалах научных конференций – 5.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 115 наименований, 20 рисунков, 3 таблиц и 3 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследуемой темы, сформулированы основная цель и задачи исследования, раскрыты научная новизна, а также методы и модели, использованные в исследовании, отмечена практическая значимость и приведены сведения об апробации полученных результатов. Описана структура и объем диссертации.

В первом разделе приведены примеры некоторых промышленных описанных в литературе частотно-импульсных систем (ЧИС).

Проводится обзор современного состояния синтеза частотно-импульсных систем автоматического управления и проанализированы возникающие при этом проблемы, при управлении динамическими частотно-импульсными системами. Приведенный анализ показывает, что применение существующих методов синтеза приводит к трудностям математического и вычислительного характера.

В заключение первого раздела дается формулировка задачи решаемой работы, которая заключается в том, чтобы:

1. Разработать метод структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления использующего алгоритмы распознавания образов;

2. Разработать вычислительные алгоритмы и комплексы программ для структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления;

3. Разработать методы параметрического синтеза статистически оптимальных по среднеквадратичному критерию качества динамических частотно-импульсных систем автоматического управления на основе вольтерровских и статистически линеаризованных моделей;

4. Разработать вычислительных алгоритмы и комплексы программ для параметрического синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления;

5. Разработать и испытать в промышленных условиях подсистему непосредственного цифрового частотно-импульсного управления перепуском электродов в в руднотермической печи.

Во втором разделе приведена разработка метода структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления использующего алгоритмы распознавания образов, включающая формирование структуры оператора динамических частотно-импульсных модуляторов в классе функциональных рядов Вольтерра, вычисление информативных признаков сформированных классов и классификации синтезируемых структур оператора фильтра модулятора к одному из сформированных классов. Приведены результаты эксперимента, показывающие разделимость сформированных классов.

Динамическая частотно-импульсная система автоматического управления (ДЧИСАУ) состоит из динамического частотно-импульсного модулятора (ДЧИМ) и приведенной непрерывной части (ПНЧ). Модулятор ДЧИМ представляет собой последовательное соединение фильтра Φ и импульсного устройства ИУ, охваченное параметрической обратной связью. Единичные δ -импульсы подаются на вход приведенной непрерывной части ПНЧ, включающей в себя наряду с управляющим объектом и формирующий фильтр. Объект управления подвержен воздействию белого шума $\mu(t)$. Входной сигнал $f(t)$ представляет собой случайный стационарный процесс с известными статистическими характеристиками.

В общем случае, приведённая непрерывная часть характеризуется нелинейным оператором вида:

$$z(t) = H[z(\tau), u(\tau), \mu(\tau) | t_0 \leq \tau \leq t], \quad (1)$$

где $u(t)$ - выходной процесс модулятора, $\mu(t)$ - белый шум с характеристиками

$$M\{\mu(t)\} = 0, \quad M\{\mu(t)\mu(s)\} = r_{11}\delta(t - s),$$

r_{11} -интенсивность спектральной плотности белого шума $\mu(t)$.

Задача синтеза асимптотически оптимальной ДЧИСАУ сводится к выбору управляющего алгоритма из набора, образованного различными видами динамических частотно-импульсных модуляторов. Критерием выбора служит

$$Q = M\{G[z[t], u[t] | 0 \leq t \leq T]\}, \quad (2)$$

где G - функционал, заданный на случайных процессах $z(t)$ и $u(t)$

В динамической частотно-импульсной системе автоматического управления между процессами $x(t)$, $u(t)$ и входными процессами $f(t)$, $\mu(t)$ имеются следующие связи

$$x(t) = f(t) - H[z(\tau), u(\tau), \mu(\tau) | t_0 \leq \tau \leq t], \quad (3)$$

$$u(t) = \sum \lambda_n \delta(t - t_n), \quad (4)$$

$$y(t_{n+1} - 0) = W[x(\tau) | t_n + \tau_0 \leq \tau \leq t_{n+1} - 0] = \lambda_{n+1} \Delta, \quad (5)$$

$$\lambda_{n+1} = \text{sign } y(t_{n+1} - 0), \quad (6)$$

где $x(t)$ – сигнал ошибки системы; $y(t)$ – выходной сигнал фильтра Φ модулятора; $z(t)$ – сигнал на выходе разомкнутой системы; $u(t)$ – выходной сигнал ДЧИМ; Δ – порог импульсного устройства ИУ.

Выражения (3) - (6) служат ограничениями при решении задачи синтеза, связанными физическими свойствами системы, и характеризуют закономерность протекания процесса в данной системе.

Кроме того, как и в других системах, могут быть ограничения иной природы: технические, технологические, экономические и другие. В общем виде их можно записать как

$$B_{1,\alpha}[z(\tau), u(\tau) | 0 \leq \tau \leq T] = b_{1,\alpha}, \quad \alpha = 1, 2, \dots, \alpha_0, \quad (7)$$

$$B_{2,\beta}[z(\tau), u(\tau) | 0 \leq \tau \leq T] = b_{2,\beta}, \quad \beta = 1, 2, \dots, \beta_0. \quad (8)$$

Тогда задача синтеза асимптотически оптимальной динамической частотно-импульсной системы автоматического управления сводится к тому, чтобы найти такой управляющий алгоритм из набора ДЧИМ, при котором принятый статистический критерий (2) достигает своего экстремального значения, причём выполняются соответствующие ограничения. Эту задачу можно записать в следующей форме:

$$Q = \min, \quad (9)$$

при

$$x(t) = f(t) - H[z(\tau), u(\tau), \mu(\tau) | t_0 \leq \tau \leq t], \quad (10)$$

$$u(t) = \sum_n \lambda_n \delta(t - t_n), \quad \lambda_{n+1} = \text{sign } y(t_{n+1} - 0), \quad (11)$$

$$y(t_{n+1} - 0) = W[x(\tau) | t_n + \tau_0 \leq \tau \leq t_{n+1} - 0] = \lambda_{n+1} \Delta, \quad (12)$$

$$B_{1,\alpha} = b_{1,\alpha}, \quad \alpha = 1, 2, \dots, \alpha_0, \quad (13)$$

$$B_{2,\beta} \leq b_{2,\beta}, \quad \beta = 1, 2, \dots, \beta_0. \quad (14)$$

Как видно из описания (10)-(12) динамические частотно-импульсные модуляторы полностью задаются свойствами функционала W фильтра Φ , значением порога Δ импульсного устройства ИУ и формой $\gamma(\tau)$ выходного импульса. Обычно форма импульса заранее задаётся из технических соображений. Например, если импульсы прямоугольные, то функция $\gamma(\tau)$ характеризуется амплитудой A и шириной γ .

В этом случае задача синтеза статистически оптимальной ДЧИСАУ сводится к выбору оператора W , постоянных параметров Δ , A и γ из условия задачи (10) - (14).

Для решения сформулированной задачи могут быть развиты два подхода: непараметрический (структурный) и параметрический.

Задача структурного синтеза сводится к выбору оптимального вида оператора W фильтра Φ модулятора, т.е.

$$Q = \min_w, \quad (15)$$

при выполнении (10) - (14).

Параметрический синтез сводится к выбору настроечных параметров системы. Пусть параметрами оператора W фильтра Φ модулятора являются p_1, \dots, p_k . Обозначим $p_{k+1} = \Delta, p_{k+2} = A, p_{k+3} = \gamma$. Тогда задача параметрического синтеза статистически оптимальной системы сводится к определению оптимального значения вектора

$$\vec{P} = [p_1, \dots, p_{k+3}]^T \quad (16)$$

из условия

$$Q = \min_{\vec{P}}. \quad (17)$$

при выполнении (10) - (14).

Структурный синтез ДЧИСАУ при заданной вольтерровской модели приведённой непрерывной части (1) задача сводится к такому выбору импульсных характеристик $\vec{m}_1^o(t, \tau_1, \dots, \tau_r)$, $r = 0, 1, 2, \dots, \tau_r$ вольтерровской модели модулятора:

$$u(t) = \int_0^\infty \vec{m}_1^o(t, \tau_1, \dots, \tau_r) d\vec{x}_1(\tau), \quad (18)$$

где

$$\vec{m}_1^o(t, \tau_1, \dots, \tau_r) = [m_0^o, m_1^o(\tau_1, \tau_2), \dots, m_1^o(\tau_1, \dots, \tau_r)]^T, \quad (19)$$

чтобы ДЧИСАУ соответствовала оптимальной системе.

Асимптотически оптимальная вольтерровская модель модулятора (19) реализуется с помощью эквивалентной ДЧИМ нелинейной системы, состоящей из блока формирования импульсов БФИ и блока сброса БС. Так как структура блока формирования импульсов БФИ инвариантна к виду ДЧИМ, то задача структурного синтеза сводится к выбору оптимальной структуры блока сброса БС, т.е. находится оптимальный вид оператора W^o фильтра Φ , который определяет структуру (вид) оптимального динамического частотно-импульсного модулятора.

Наиболее перспективным направлением для определения структуры фильтра Φ модулятора (структурного синтеза) является использование алгоритмов распознавания образов.

В работе предложен метод структурного синтеза ДЧИСАУ, состоящий из следующих этапов: формирования классов ДЧИМ - регуляторов в классе функциональных рядов Вольтерра, выбора вектора информативных признаков и классификации структуры фильтра к одному из сформированных классов ДЧИМ использующего алгоритмы распознавания образов.

При формировании классов динамического частотно-импульсного модулятора ДЧИМ структура фильтра Φ задается в виде стационарных нелинейных динамических объектов, предоставляемых функциональным рядом Вольтерра

$$y(t) = \sum_{k=1}^N \int_0^{\infty} \dots \int h_k(\tau_1, \dots, \tau_k) \prod_{i=1}^k x(t - \tau_i) d\tau_i, \quad (20)$$

где $x(t), y(t)$ - соответственно входной и выходной процессы фильтра модулятора, $h_k(\tau_1, \dots, \tau_k)$ - импульсная характеристика k -порядка.

С целью формирования классов для динамических характеристик нелинейных объектов вводится функциональное метрическое пространство P с метрикой ρ , где два различных нелинейных объекта характеризуются некоторым расстоянием.

Под классом $\omega_i \in \Omega, i = \overline{1, M}$ будем понимать совокупность нелинейных динамических объектов, для которых расстояние между их информативными V попарно меньше какого-то положительного числа $\bar{\rho} \in P$.

Классы ДЧИМ формируются путем выбора количества k элементов ряда (20) и видов его ядер.

Для количественного определения близости двух нелинейных объектов вводится совокупность информационных признаков, характеризуемых функционалами

$$V_r = Q_r[y(\tau) / 0 \leq \tau \leq T]; r = \overline{1, R}. \quad (21)$$

Поскольку входной и выходной процессы фильтра модулятора в рамках работы предполагаются случайными и стационарными, то информативными признаками являются статистические характеристики этих процессов: функции распределения и спектральные функции. Однако практическое применение их затруднительно из-за вычислительной сложности их получения.

В этой связи качестве информативного признака рассматриваются относительные семиинварианты:

$$\gamma_r = \frac{|S_r|}{r^\alpha \prod (r)\beta_r}; r = \overline{1, R}; \quad (22)$$

где S_r - семиинварианты, определяемые выражением

$$S_r = r! \sum_{m=1}^r \sum_{l,i} \frac{(-1)^{i-1} (i-1)!}{i_1! \dots i_2!} \left(\frac{\mu_{y_1}}{y_1!} \right)^{i_1} \dots \left(\frac{\mu_{y_r}}{y_r!} \right)^{i_r}, \quad (23)$$

β_r - абсолютные моменты; μ_r - центральные моменты;

$$\Pi(r) = r! \sum_{i=1}^r \sum_{l_i} \frac{(i-1)!}{i_1! \dots i_r! (1!)^{i_1} \dots (1!)^{i_r}}. \quad (24)$$

Суммирование во второй сумме в (23) и (24) производится по всем индексам l, i удовлетворяющим условиям:

$$\sum_{k=1}^m l_k i_k = r; \quad \sum_{k=1}^m i_k = i; \quad (25)$$

Последовательность γ^r при $r \rightarrow \infty$ монотонно стремится к нулю как $r^{-\alpha}$, а при $\alpha > 0,5$

$$\sum_{r=1}^{\infty} \gamma_r^2 < \infty.$$

Эти свойства позволяют использовать конечную совокупность первых R элементов γ_r , в качестве координат вектора информативного признака нелинейного динамического объекта V_r .

Вектор информативных признаков V_r ($r = \overline{1, R}$) имеет конечную размерность и формируется в виде

$$V_r = \gamma_r, r = \overline{1, R}. \quad (26)$$

На третьем этапе по значению нормы вектора информационных признаков V_r можно определить конкретный класс ДЧИМ - регуляторов, т.е. структуру фильтра Φ . Для этого используются алгоритмы распознавания образов для классификации информативного признака V_r синтезируемой структуры фильтра модулятора к одному из сформированных классов $\omega_i, i = \overline{1, M}$.

В третьем разделе рассматривается процедура параметрического синтеза динамической частотно-импульсной управляющей системы при выполнении (10) -(14).

На первом этапе процедуры параметрического синтеза на основе вольтерровской модели ДЧИСАУ или на основе их статистически линеаризованных моделей задача (16)-(17) преобразуется к задаче математического программирования вида:

$$\vec{F}(\vec{p}) = \min, \quad (27)$$

где

$$B_{3,\alpha}(\vec{p}) = v_{3,\alpha}, \alpha = 1, 2, \dots, \alpha_1, B_{3,\beta}(\vec{p}) \leq v_{4,\alpha}, \beta = 1, 2, \dots, \beta_1.$$

На втором этапе определяется искомый оптимальный вектор \vec{F} путём решения задачи (27), проводится параметрическая оптимизация выбранной системы в допустимой области параметров.

Рассматриваемая в третьем разделе динамическая частотно-импульсная система автоматического управления ДЧИСАУ описывается следующими уравнениями

$$x(t) = f(t) - z(t), \quad (28)$$

$$\dot{\bar{z}}(t) = \varphi(\bar{z}, u), \quad z(t) = q^T \bar{z}(t), \quad (29)$$

$$\dot{\bar{y}}(t) = \psi(\bar{y}, u), \quad y(t) = d^T \bar{y}(t), \quad (30)$$

$$W[x(t)/t_n + 0 \leq \tau \leq t_{n-1} - 0] = \lambda_{n+1} \Delta, \quad (31)$$

$$\lambda_{n+1} \Delta = \text{sign} W[x(\tau)/t_n + 0 \leq \tau \leq t_{n+1} - 0], \quad (32)$$

$$u(t) = \sum_n \lambda_n s(t - t_n), \quad (33)$$

где $z(t)$, $y(t)$, $x(t)$ - соответственно выходные сигналы управляемого объекта, фильтра Φ и процесс ошибки системы; $\bar{z}(t)$, $\bar{y}(t)$ - соответственно вектор состояния управляемого объекта и фильтра Φ ; $s(t)$ - функция, описывающая форму управляющего импульса.

Эффективность функционирования ДЧИСАУ характеризуется статистическим критерием следующего вида

$$I = MQ(x), \quad (34)$$

где M - знак математического ожидания; $Q(x)$ - заданная функция от ошибки системы.

Анализ динамических частотно-импульсных систем автоматического управления показывает, что задача параметрического синтеза сводится к выбору параметров c_1, \dots, c_j , оператора W , порога, $c_{j+1} = \Delta$ и параметров, определяющих форму управляющего импульса из заданного условия. Эти параметры c_1, c_2, \dots, c_n могут выбираться из допустимой области, задаваемой в общем случае в виде

$$Mp(\bar{c}, x(t)) \leq 0, \quad (35)$$

где $\bar{c} = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T$ - вектор постоянных параметров модулятора.

В связи с вышеописанной формализацией синтез динамических частотно-импульсных управляющих систем сводится к определению вектора постоянных параметров модулятора \bar{c} из условия минимума критерия качества (17) при ограничениях (28)-(33) и (35).

Таким образом, математическую постановку задачи параметрического синтеза ДЧИСАУ можно записать следующим образом

$$\min\{MQ[x(t)]; x(t) = f(t) - z(t);$$

$$\dot{\bar{z}}(t) = \varphi(\bar{z}, u), \quad z(t) = q^T \bar{z}(t);$$

$$\dot{\bar{y}}(t) = \psi(\bar{y}, u), \quad y(t) = d^T \bar{y}(t); \quad (36)$$

$$W[x(t)/t_n + 0 \leq \tau \leq t_{n-1} - 0] = \lambda_{n+1} \Delta;$$

$$\lambda_{n+1} \Delta = \text{sign} W[x(\tau)/t_n + 0 \leq \tau \leq t_{n+1} - 0];$$

$$u(t) = \sum_n \lambda_n s(t - t_n), \text{M}p(\bar{c}, x) \leq 0\};$$

Особенность функционирования динамических частотно-импульсных систем автоматического управления ДЧИУС, описываемой системой уравнений (28)-(33), не допускает непосредственного решения задачи параметрического синтеза (17).

Одним из путей решения задачи параметрического синтеза (36) является преобразование ее путем исключения из математического описания системы управления переменных x, y, z к задаче поиска экстремума функции многих переменных

$$F(\bar{c}) \rightarrow \min, \text{при } P(\bar{c}) < 0. \quad (37)$$

Наиболее естественным путем преобразования задачи (36) к задаче (17) является структурное преобразование динамической частотно-импульсной системы автоматического управления, и в которой точно воспроизводятся процессы, протекающие в исходной системе, и исключаются параметрические обратные связи.

Замена ДЧИМ, эквивалентной ему нелинейной системой и применение аппарата функциональных рядов Вольтерра позволяют получить явное соотношение между входом $f(t)$ и процессом ошибки $x(t)$ системы

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} n_k \otimes^k f(t), \quad (38)$$

где символом $n_k \otimes^k f(t)$ обозначена k -мерная свертка импульсных характеристик и входного сигнала $f(t - \tau_i), i = 1, \dots, k$, т.е.

$$n_k \otimes^k f(t) = \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} n_k(\tau_1, \dots, \tau_k) \prod_{i=1}^k f(t - \tau_i) d\tau.$$

С помощью этой модели (38) исключаются переменные x, y, z из уравнений задачи (36) и она приводится к параметрическому виду (37)

$$\text{MQ}(\sum_{k=1}^{\infty} n_{k,h} \otimes^k f(x)) \rightarrow \min. \quad (39)$$

В некоторых практических случаях при решении задачи (39) удобно вместо вольтерровской модели ДЧИСАУ (38) использовать статистически линеаризованные ее модели в виде

$$\hat{x}(t) = \int_0^{\infty} 1_0^{(i)}(\bar{c}, \tau) m_f d\tau + \int_0^{\infty} 1_0^{(i)}(\bar{c}, \tau) f^0(t - \tau) d\tau,$$

где i - индекс способа статистической линеаризации; m_f , $f^0(t - \tau)$ соответственно математическое ожидание и центрированная составляющая входного процесса $f(t)$.

В настоящем разделе работы разработаны алгоритмы и методы параметрического синтеза ДЧИСАУ на основе вольтерровской и статистически линеаризованных моделей, отличающиеся по точности и степени трудоемкости вычислительных процедур, служащие основой для программного обеспечения параметрического синтеза системы и входят в состав функционального наполнения диалоговой системы проектирования и исследования динамических частотно-импульсных управляющих систем.

В четвертом разделе разработанные в предыдущих разделах модели и методы синтеза по разработке частотно-импульсных систем автоматического управления использованы при проектировании и внедрении систем управления технологическими процессами фосфорного производства на Жамбылском филиале ТОО «Казфосфат» (Новоджамбулский фосфорный завод) общества «НДФЗ».

Рассматривается один основных процессов желтого фосфора-электровозгонка фосфора в руднотермической печи. Основными показателями качества ведения процесса является производительность в руднотермической печи, объем выпуска желтого фосфора и удельные затраты на 1 т. фосфора.

Одним из главных этапов решения задачи эффективного управления является решение задачи управления электрическим режимом в фосфорной печи. Задача управления электрическим режимом в фосфорной печи сводится к поддержанию заданной длины электродов.

Разрабатываемая подсистема непосредственного цифрового управления перепуском электродов в руднотермической фосфорной печи реализована в классе алгоритмов с динамической частотно-импульсной модуляцией.

Проведен структурный синтез частотно-импульсных систем автоматического управления с использованием алгоритмов распознавания образов, включающего формирование структуры динамических частотно-импульсных модуляторов, вычисления информативных признаков и классификации синтезируемого фильтра модулятора к одному из классов динамических частотно-импульсных модуляторов. В результате структурного синтеза получена структура регулятора подсистемы непосредственного цифрового управления перепуском электродов в виде Σ – ЧИМ.

Получены оптимальные настроечные параметры частотно-импульсного модулятора подсистемы непосредственного цифрового частотно-импульсного управления из условия минимума среднеквадратичной ошибки системы.

Проведены промышленные испытания разработанной подсистемы. Анализ результатов показывает, что стабилизация заданной длины электродов разработанной подсистемы непосредственного цифрового частотно-импульсного управления осуществляется более высокой точностью, чем со стандартной системой. Повышение точности стабилизации необходимой длины рабочего конца электродов привело к повышению производительности руднотермической печи на 1,2%, вследствие чего увеличился объем выпуска желтого фосфора на 1,6% и уменьшились удельные затраты на 1 т. фосфора.

Акт об опытно-промышленных испытаниях подсистемы приведен в Приложении. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанной

подсистемы составляет 6 035 000 (шесть миллионов тридцать пять тысяч) тенге.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты проведенных автором исследований следующие:

1. Разработан метод структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления, включающий этапы формирования классов ДЧИМ - регуляторов в классе функциональных рядов Вольтерра, выбора вектора информативных признаков и классификации структуры модулятора к одному из сформированных классов ДЧИМ использующего алгоритмы распознавания образов;

2. Разработаны вычислительные алгоритмы и комплексы программ для структурного синтеза динамических частотно-импульсных систем автоматического управления;

3. Разработаны методы параметрического синтеза статистически оптимальных по среднеквадратичному критерию динамических частотно-импульсных систем автоматического управления на основе вольтерровских и статистически линеаризованных моделей;

4. Разработана подсистема непосредственного цифрового частотно-импульсного управления перепуском электродов в руднотермической печи.

Проведены опытно-промышленные испытания разработанной подсистемы в условиях печного цеха на Жамбылском филиале ТОО «Казфосфат» (НДФЗ) (Новоджамбулский фосфорный завод).

Ожидаемый экономический эффект, по результатам опытно-промышленных испытаний, от внедрения разработанной подсистемы составляет 6 035 000 (шесть миллионов тридцать пять тысяч) тенге.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1 Айтчанов Б.Х., Ескендинова Д.М., Умиртаева Ж. Г., Карибжанов А.О. Синтез информационно- управляющих систем режимными параметрами технологических процессов нефтегазовой отрасли //Международная научно-практическая конференция «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии».-Алматы: КБТУ.-2008.- С. 166-169.

2 Айтчанов Б.Х., Ескендинова Д.М. К вопросу структурного синтеза частотно-импульсных управляющих систем //Труды международной научно-практической конференции «Химия в строительных материалах и материаловедение в XXI веке».- Шымкент.- 2008. - С. 228-232.

3 Айтчанов Б.Х., Ескендинова Д.М. Определение оптимальной структуры динамических частотно-импульсных систем управления //V Халықаралық ғылыми конференцияның материалдары «Дифференциалдық теңдеулер, анализ және алгебра проблемалары», Ақтөбе, 2009, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе мемлекеттік университеті. С. 383-385.

4 Айтчанов Б.Х., Ескендилова Д.М., Бектилеуова П.Х. Один подход к применению методов распознавания образов в синтезе динамических частотно-импульсных систем //Материалы Республиканской научно-практической конференции «Молодежь и информационная технология», Актау: КГУТиИ им.Ш. Есенова, 2009. С.222-225

5 Ескендилова Д.М. Оптимальные настроечные параметры динамических частотно-импульсных управляющих систем // Журнал «Поиск», №3, 2010. С.237-241

6 Айтчанов Б.Х., Ескендилова Д.М. Оценка оптимальных настроечных параметров динамических частотно-импульсных управляющих систем.- Усть-Каменогорск: Вестник Восточно-Казахстанского Технического университета им. Д. Серикбаева, №2, 2010 г. С. 44-48.

7 Ескендилова Д.М. Синтез статистически оптимальных частотно-импульсных управляющих систем //Вестник Актюбинского государственного университета, №2, 2010 г. С. 14-18.

8 Ескендилова Д.М. Методы параметрического синтеза динамических частотно–импульсных управляющих систем.- Алматы: Вестник КазАТК, № 3, 2010 г. С.130-136

Ескендірова Дәмелі Мақсұтқызы

“Динамикалық жиілікті-импульсті автоматталған басқару жүйелердің синтездеу моделдері мен әдістері”

05.13.06 – Технологиялық процестер мен өндірістерді автоматтандыру және басқару

ТҮЙІН

Жұмыстың маңыздылығы. Ақпаратты өңдеу және тасымалдаудың ең перспективті әдісі болып динамикалық жиілікті-импульсті модуляция табылады (ДЖИМ). Динамикалық жиілікті-импульстік модуляторды басқару құрылғысы ретінде басқару жиегіне қосуы оған жаңадан қасиеттерді қосып және оның тиімділігін арттыруда көптеген мүмкіндіктерді берумен қатар техникалық және алгоритмдік іске асыруын қарапайымдылығын сақтайды.

Қазіргі уақытта жекешеленген түрді динамикалық жиілікті-импульстік автоматталған басқару жүйелерінің параметрлік синтездің әдістері өңделген. Бірақ бұл класстағы жүйелерді құрылымдық синтездеу (басқару құрылғысының құрылымын анықтау) математикалық және есептеу сипаттағы қиындықтарға апарып соғады.

Осы себеппен ДЖИМ-ді жүйелер класындағы іске асырылған технологиялық үрдісті автоматталған басқару жүйелерінің математикалық моделдері мен синтездеу әдістерін өңдеу көкейкесті болып табылады.

Жұмыс мақсаты. Осы жұмыстың мақсаты динамикалық жиілікті-импульсті автоматталған жүйелердің бейне тану алгоритмін қолданып, құрылымдық синтез әдісін өңдеу; динамикалық жиілікті-импульсті автоматталған жүйелердің құрылымдық синтезіне есептеу алгоритмін және программалық кешенді құру; динамикалық жиілікті-импульсті автоматталған жүйелердің вольтерр және статистикалық сызықты моделдерін құру; динамикалық жиілікті-импульсті автоматталған жүйелердің вольтерр және статистикалық сызықты моделдеріне негізделіп, параметрикалық синтез әдістерін өңдеу; кен-термальдық пешінің электродтарын қайта жүктеудің тікелей сандық жиілікті-импульсті басқару жүйешесін өңдеу мен тәжірибелік-өнеркәсіптік сынаудан өткізу.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыстың барысында қойылған есептерді шешу үшін функционалдық жіктеулер теориясының, бейсызықты жүйелердің автоматталған басқару теориясының, бейне тану теориясының және имитациялық моделдеу әдістері қолданылған.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы болып динамикалық жиілікті-импульсті автоматталған жүйелердің құрылымдық синтез әдісін өңдеу, оның айырмашылығы - Вольтерра функционалдық қатарлары класында қалыптасқан басқару құрылғысының оператор құрылымы, ДЖИМ модулятордың ақпараттық белгілері есептеледі және модулятор операторының синтезделетін құрылымы бейне тану алгоритмі қолдануымен жіктеледі.

Жұмыстың тәжірибелік құндылығы. Диссертациялық жұмыста өңделген синтездеу әдістері мен алгоритмдері кен-термальдық пешінің электродтарын қайта жүктеудің тікелей сандық жиілікті-импульсті басқару жүйешесін құруда қолданылған. Тәжірибелік- өнеркәсіптік сынау туралы акті қосымшада келтірілген.

Жұмыс нәтижелерін пайдалану. Диссертациялық жұмыстың барысындағы зерттеулер Қ.Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-дың «Техникалық кибернетика» кафедрасының мемлекеттік бюджет жұмыстары жоспарына сәйкес орындалған – ҚР БҒМ фундаменталды зерттеулер бағдарламасының Гранты Ф.0351 «Жақын ғарыштағы кездейсоқ параметрлер мен үрдістерді компьютерлік имитациялау моделдері мен әдістерін құру». Зерттеу нәтижелері «Қазфосфат» ЖШС-нің құрылымдық бөлімшелеріне ендірілді, сондай-ақ Қ.Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-нің АҚТО диалогты жүйесін зерттеуде, Алматы энергетика және байланыс институтының «Инженерлік кибернетика» кафедрасының 050702 - Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттерін дайындауда іс жүзінде қолданылды.

Зерттеу жұмысының сыннан өтуі. Диссертацияның негізгі мазмұны бойынша 8 ғылыми жұмыста жарияланды.

Yeskendirova Damelya Maksutovna

“Models and methods of synthesis of dynamic pulse-frequency systems of automatic control”

05.13.06 – Automation and management of technological processes and manufactures

Summary

Topicality of the work. One of the most perspective methods of transferring and processing information is the dynamic pulse frequency modulation (DPFM). Including the dynamic pulse-frequency modulator in the contour of management as a managing device will add new features to it, and will open wider opportunities for its optimization while maintaining the simplicity of technical and algorithmic realization.

Currently there are methods of parametric synthesis of private types of dynamic pulse-frequency systems of automated control that were devised. However, when carrying out a structural analysis of the given class of systems (defining the structure of managing device) one faces the difficulties of mathematical and computer-oriented character.

In this regard, elaboration of mathematical models and methods of synthesis of the systems of technological processes automated control, implemented in the class of systems with DPFM, oriented towards wider spectrum of applied tasks of automation and management is of great urgency.

Purpose of the study. The purpose of present work is: to develop a method of structural synthesis of dynamic pulse-frequency systems of automated control, using the image detection algorithms; development of computational algorithm and a set of programmes for structural synthesis of dynamic pulse-frequency systems of automated control; construction of Volterra and statistically linearized models of dynamic pulse-frequency systems of automated administration; elaboration of computing algorithms and set of programmes for parametric synthesis of dynamic pulse-frequency systems of automated control; elaboration and experimental trial of the subsystem of immediate digital pulse-frequency control of electrode slip in ore-thermal furnace.

Methods of the study. During the process of solving the tasks set in the dissertation the methods of functional decomposition, theory of automated control by non-linear systems, methods of image recognition theory and simulation methods have been used.

Scientific novelty of the study is represented by development of structural synthesis of dynamic pulse-frequency systems of automated control method, which are notable for the fact that the structure of controlling device operator forms in the class of Volterra functional series, informative signs of FPFM modulator are computed, and synthesized structure of modulator's operator is classified using the algorithms of image detection.

Volterra and statistically linearized models of the system are constructed, and based on those the methods of parametric synthesis of dynamic pulse-frequency systems of automated control are developed, which differ from each other by precision and level of labour-intensiveness of computing procedures. Engineering methodology of subsystem synthesis of immediate digital pulse-frequency administration of electrode split in ore-thermal furnace is devised.

Practical value. Methods and algorithms of synthesis devised in the dissertation have been used when developing a subsystem of immediate digital pulse-frequency administration of electrode split in ore-thermal furnace. The Act on experimental testing is attached in the Annex.

Introduction of the study results. The study carried out within the dissertation paper, have been conducted in accordance with the plan of state-funded works of “Technical Cybernetics” department of KazNTU after K.Satpayev, Almaty - The grant of the program of basic researches of MES RK - F.0351 on a theme «Working out of models and methods of computer imitation of casual parameters and processes of near space».

The results of the work have been introduced in the structural subdivisions of LLP “Kazphosphat”, and also used for preparation of laboratory works for the disciplines of “The theory of nonlinear automatic systems”, “Automation of technical systems” of the “Engineering Cybernetics” department for the students of the special subject of Automation and Administration of Almaty Institute of Energy and Communication, and for the interactive system study of KazNTU after K.Satpayev.

Approbation of the work. The main positions and results of the dissertation paper have been reported on and discussed at various international conferences: International Theoretical and Practical Conference “Problems of Innovation Development of Oil and Gas Industry” Almaty, 2008; International Theoretical and Practical Conference “Chemistry in Construction Materials and Materials Science in XXI Century”, Shymkent, 2008; International Theoretical and Practical Conference “International Innovation. Technologies: Integration in Business, Education and Science”, dedicated to the 75-th Anniversary of KazNTU after K. Satpaev; Almaty, 2008; at scientific seminars of “Technical Cybernetics” department of K.Satpayev KazNTU in 2008-2009 yy.

Publications. The main content of the dissertation is reflected in 8 scientific works.