

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ
В ЭНЕРГЕТИКЕ

На правах рукописи

УДК 681.325

ФЕДОРЧУК Владимир Анатольевич

СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ УПРАВЛЯЕМЫХ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Специальность 05.13.16

Применение вычислительной техники, математического
моделирования и математических методов
в научных исследованиях

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1993

Работа выполнена в отделе моделирования динамических систем Института проблем моделирования в энергетике Академии наук Украины.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Верлань Анатолий Федорович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Кондращенко Владимир Яковлевич

кандидат технических наук
Абидов Султан Турсунович.

Ведущее предприятие: Киевский политехнический институт

Защита состоится "24" июня 1993г.
в 10 час 00 мин на заседании специализированного совета
K016.61.01 по присуждению ученых степеней в Институте проблем
моделирования в энергетике Академии наук Украины по адресу:
252680, Киев-164, ул. Генерала Наумова, 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
проблем моделирования в энергетике Академии наук Украины.

Автореферат разослан "21" мая 1993 г.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00815204 (K)

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

Сем

Э.П. Семагина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Электромеханические системы (ЭМС) широко используются в машиностроении, металлургии, транспорте, энергетике, добыче полезных ископаемых и т. д. В связи с массовостью промышленного применения ЭМС при их работе наблюдаются значительные затраты электрической энергии (до 50% потребляемой электроэнергии в промышленности). В связи с этим при построении высокопроизводительных и экономичных ЭМС возникает необходимость в решении ряда таких расчетных вопросов, как исследование влияния параметров отдельных звеньев на устойчивость и качество переходных процессов, оценка целесообразности введения в схемы различных обратных связей, анализ поведения системы управления при возникновении в ней аварийных режимов, определение допустимых отклонений параметров, а также решение вопросов, связанных с синтезом системы, оптимизацией ее структуры и параметров.

Функционирование ЭМС связано в основном с движением, что свидетельствует о том, что основные трудности их исследования лежат в области задач динамики. Высокая размерность и нелинейность математических моделей, адекватно представляющих элементы электромеханических объектов различной физической природы (электрические цепи, магнитные и электрические поля, механические звенья и т. д.), сложность алгоритмов управления, необходимость учета распределенности параметров, большое разнообразие режимов усложняют задачу моделирования и затрудняют исследование без широкого привлечения средств цифровой вычислительной техники. Сложность этих задач подчеркивается также и тем, что современные ЭМС в подавляющем большинстве снабжаются системами управления с встроенными ЭВМ.

Таким образом, задачи проектирования, построения, исследования режимов, испытания и отладки ЭМС являются весьма трудоемкими, а создание методов и средств эффективного их решения посредством компьютерного моделирования представляет собой актуальную проблему, решенную далеко не в полной мере, несмотря на значительные достижения в этой области исследований.

Целью диссертационной работы является разработка, обоснование и исследование методики структурно-алгоритмического моделирования динамических систем, а также программных средств открытого типа с модульно-звеньевой организацией, обеспечивающих эффективное исследование управляемых электромеханических

систем и их звеньев и построение специализированных цифровых вычислительных устройств аналогичного назначения.

Для достижения указанной цели требуется решение следующих задач:

- анализ и систематизация математических моделей динамики типовых элементов управляемых ЭМС;

- разработка комплекса способов дискретизации и численной реализации динамических моделей основного набора элементов управляемых ЭМС, в том числе элементов с распределенными параметрами;

- создание исследовательской программной моделирующей системы для компьютерного исследования широкого класса электромеханических объектов с обеспечением алгоритмической совместимости модулей системы, необходимой степени открытости и гибкости при поэлементном структурировании моделируемых объектов;

- разработка структур специализированных цифровых управляющих и моделирующих устройств для организации управляющих связей в ЭМС.

- исследование и применение предложенной методики моделирования при решении практически важных задач в области анализа и проектирования управляемых ЭМС.

Методы исследований. Основные методы, с помощью которых решались задачи, поставленные в диссертационной работе, следующие: методы вычислительной математики, операционного исчисления (интегрального преобразования Лапласа, дискретного z -преобразования), теории дифференциальных уравнений, методы теории управления, методы идентификации динамических систем, элементы теории программирования и др.

Научная новизна. В диссертационной работе изложены следующие научные результаты, полученные в процессе исследования:

- разработаны математические модели типовых элементов управляемых ЭМС, обеспечивающие рациональную структуризацию исследуемых систем;

- предложены численные разностные алгоритмы реализации динамических моделей основных типов элементов ЭМС с сосредоточенными параметрами, обеспечивающие создание эффективных программных средств моделирования;

- развит подход к дискретизации динамических моделей объектов с распределенными параметрами на основе приближения

трансцендентных и иррациональных передаточных функций дробно-рациональными передаточными функциями и последующей численной реализации посредством квадратурных и разностных алгоритмов;

- предложены программные моделирующие средства для эффективного исследования управляемых ЭМС, допускающие модульно-звеньевую организацию.

Практическая ценность. Теоретические результаты диссертационной работы реализованы в программной моделирующей исследовательской системе, использование которой позволяет изучать процессы, происходящие в сложных реальных ЭМС. Предложенные способы структурной и алгоритмической организации машинных вычислений позволяют строить экономичные и высокопроизводительные цифровые вычислительные устройства, которые могут быть использованы для решения широкого класса практически важных научно-технических задач.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы использовались в ряде разработок, выполненных в ИГМЭ АН Украины по х/д темам совместно с Львовским радиотехническим институтом (моделирование на ПЭВМ динамики системы привода с первичным дизельным двигателем), Институтом АЗИНЕФТЕХИМ и ПО Азнефть (методика математического моделирования управляемых динамических систем применительно к системам электропривода нефтепромыслов).

Аппробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- втором Всесоюзном совещании "Конвейерные вычислительные системы" (Киев, 1988 г.);

- третьей Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы нелинейной электротехники" (Черкассы, 1988 г.);

- третьей Республканской научно-технической конференции "Интегральные уравнения в прикладном моделировании" (Одесса, 1989 г.);

- Республканской научно-технической конференции "Функционально ориентированные вычислительные системы" (г. Алушта, 1990 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано семь научных работ, в том числе получено одно авторское свидетельство на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа содержит 141 страницу машинописного текста. В приложении приведены дополнительные таблицы и рисунки, а также акты внедрения.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определена цель проводимых исследований, приведены основные материалы по научной новизне, теоретическим и практическим результатам, полученным соискателем при решении поставленных задач.

Показано, что при создании компьютерных средств моделирования ЭМС возникает необходимость систематизации возможных разновидностей математических моделей элементов ЭМС на основе обеспечения необходимой степени адекватности с учетом их специфики; создания комплекса численных алгоритмов и методики их применения для реализации динамических моделей элементов ЭМС, включая элементы с распределенными параметрами; разработки программной моделирующей системы для моделирования электромеханических объектов с обеспечением необходимой степени открытости и гибкости.

В основу организации программной моделирующей системы целесообразно положить структурно-модульный принцип, согласно которому каждому структурному элементу моделируемой системы поставлен в соответствие программный модуль. При этом возникает задача декомпозиции математической модели объекта на отдельные структурные элементы, от решения которой зависит состав набора структурных элементов, необходимого для синтеза модели объекта. Декомпозицию можно производить до элементарных звеньев, образующих базовое множество типовых динамических и нелинейных звеньев. По мере все более широкого охвата моделей ЭМС состав множества структурных элементов расширяется. Сюда, кроме элементов, входящих в базовое множество типовых динамических и нелинейных элементов, могут входить и более сложные элементы, такие, как генератор, электродвигатель, тиристорный преобразователь и т.п. Поэтому применение структурного метода моделирования позволяет создать библиотеку стандартных блоков-модулей отдельных электромеханических устройств, построенных на основе достаточно полного математического описания протекания

щих в них процессов, что приводит к повышению качества моделирования системы в целом.

В первой главе рассмотрены и систематизированы математические модели типовых элементов электромеханических систем.

Первым этапом решения задачи моделирования является задача построения математической модели ЭМС. Зная физические процессы, происходящие в объекте, можно при определенных допущениях описать его поведение аналитически, обычно с помощью дифференциальных или интегродифференциальных уравнений.

Математическое описание линейного электромеханического объекта приводится к векторно-матричной форме

$$\dot{x}(t) = A x(t) + B u(t),$$

где x - n -вектор состояния системы; u - m -вектор внешних воздействий; A - матрица системы размером $n \times n$; B - матрица описания входа размером $n \times m$ или посредством преобразования Лапласа к операторной форме

$$\dot{X}(p) - X(0) = A X(p) + B U(p),$$

где $X(0)$ - n -мерный вектор, задающий начальные условия.

Другой часто применяемой формой математического описания линейных ЭМС, благодаря широкому распространению частотных методов анализа и синтеза систем управления электромеханическими объектами, являются передаточные функции вида

$$W(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0},$$

где Y - изображение исследуемой выходной переменной; U - изображение входного воздействия; p - комплексная переменная Лапласа; $n \geq m$.

Если объект содержит линейные стационарные звенья с распределенными параметрами и, следовательно, дифференциальными уравнениями в частных производных, то для полной характеристики передаточных свойств таких звеньев целесообразно использовать двухточечную передаточную функцию

$$W_r = (x_2, x_1, p) = \frac{Y(x_2, p)}{F(x_1, p)}, \quad x_1 \in P, \quad x_2 \in Q,$$

где P - множество точек приложения входного воздействия; $Y(x_2, p)$ и $F(x_1, p)$ - преобразования Лапласа по времени от выходного сигнала и входного воздействия соответственно. Такая форма математического описания звеньев структурной схемы

объекта удобна в плане применения структурного метода моделирования, который предполагает выделение структурных элементов с распределенными параметрами и их описание в виде распределенного блока, на вход которого подается распределенный сигнал $f(x, t)$, $x \in D$, $t \in \Omega$, где D - область в g -мерном евклидовом пространстве; Ω - область числовой оси, а на выходе появляется выходной распределенный сигнал $y(x, t)$, который может иметь и другую размерность.

В качестве описания передаточных свойств распределенных блоков можно использовать бесовую функцию $V(x, \xi, t-\tau)$. Тогда линейный стационарный распределенный блок описывается интегральным оператором

$$Q(x_2, t) = \int_0^t \int_D V(x_2, \xi, t-\tau) \omega(\xi, \tau) d\xi d\tau.$$

При моделировании нелинейных электромеханических объектов принято различать два типа нелинейностей. К первому типу относятся гладкие нелинейности, а ко второму негладкие, типа "люфт", "ограничение координаты", "реле" и т.д. В случае присутствия в системе негладких нелинейностей они, по возможности, выделяются и реализуются соответствующими нелинейными блоками.

Математическое описание стационарных нелинейных объектов представимо в виде оператора Урысона

$$A_p[\varphi(t)] = \int_0^t K(t-s, \varphi(s)) ds$$

или Гаммерштейна

$$A_r[\varphi(t)] = \int_0^t K(t-s) F[\varphi(s)] ds,$$

где функция K (ядро) отображает динамические свойства объекта.

Управляемая электромеханическая система, содержащая подсистемы с сосредоточенными и распределенными параметрами, в общем случае описывается следующими уравнениями состояния:

$$\frac{dy}{dt} A \bar{y}(t) + B \bar{\varphi}(x, t) + C \bar{u}(t);$$

$$L[\bar{x}, \bar{\varphi}(\bar{x}, t)] = f(\bar{x}, t), \quad \bar{x} \in D, \quad t \in \Omega,$$

с начальными условиями

$$\frac{\partial^i \bar{\varphi}(\bar{x}, 0)}{\partial t^i} = \bar{\varphi}_i(\bar{x}), \quad i=0, 1, \dots, m-1. \quad (1)$$

и граничными условиями

$$\Gamma[\bar{x}, \varphi(\bar{x}, t)] \Big|_{x \in P} = Q(\bar{x}, t) \Big|_{x \in P} \cdot t \mathcal{X}_\alpha,$$

где $\bar{y}(t)$ - n -мерный вектор состояния подсистемы с сосредоточенными параметрами; $\bar{\varphi}(\bar{x}, t)$ - вектор состояния подсистемы с распределенными параметрами, определенный по пространственной переменной \bar{x} в замкнутой области D некоторого g -мерного евклидова пространства R^g при времени $t \in \mathcal{X}_\alpha$; $\bar{u}(t)$ - n -мерный вектор управления; A, B, C - матрицы с постоянными коэффициентами размерности $n \times n$, $n \times g$, $n \times h$ соответственно; $L[\bar{x}, \bar{\varphi}(\bar{x}, t)]$ - некоторый линейный интегродифференциальный оператор по переменным $x = (x_1, x_2, \dots, x_r)$, t ; $f(\bar{x}, t)$ - вектор-функция, определяющая управляющее воздействие сосредоточенной подсистемы на распределенную; D - открытая часть области \bar{D} ; $\varphi_i(x)$, $i=0, 1, 2, \dots, m-1$ - функции, начальных условий (1); $\Gamma[\bar{x}, \varphi(\bar{x}, t)]$ - линейный оператор граничных условий; $Q(x, t)$ - заданная вектор-функция на границе P области D при $t \in \mathcal{X}_\alpha$, отображающая воздействие внешних условий через границу P .

Все рассмотренные формы математического описания управляемых ЭМС достаточно широко используются при их исследовании методом математического моделирования. Следовательно, для оперативного решения задач моделирования целесообразно иметь набор программ, каждая из которых ориентирована на конкретную форму математического описания.

Анализ математических моделей типовых элементов ЭМС, приведенных в параграфах 1.2-1.4, приводит к целесообразности применения перечня моделей, реализуемых в виде базового набора алгоритмов.

С целью обеспечения физического подобия на структурном уровне и уменьшения вычислительных затрат необходимо производить структурирование исходной математической модели таким образом, чтобы каждому элементу структуры соответствовал конструктивный элемент либо подсистема моделируемого объекта. В таком случае модель системы представляется в виде элементов, имитирующих работу отдельных физических узлов (электрических машин, усилителей, стабилизирующих устройств и т.д.), причем каждый элемент может быть представлен в виде структуры, состоящей из типовых блоков-алгоритмов. Таким образом, структурный метод моделирования позволяет создать библиотеку элементов ЭМС, являющихся сложными физическими устройствами, (например, генератор постоянного тока, электромашинный усилитель попереч-

ного поля, синхронный электродвигатель), которые реализованы с помощью типовых блоков-алгоритмов на основе подробного математического описания протекающих в них процессов.

Во второй главе рассмотрены алгоритмы численной реализации моделей управляемых электромеханических систем.

Для любой передаточной функции, посредством тех или иных методов дискретизации, может быть получен целый ряд разностных аналогов. При этом в качестве математической модели объекта в области оригиналов можно использовать линейное разностное уравнение (уравнение цифрового фильтра):

$$y_n = \sum_{j=1}^n a_{z,j} y_{n-j} + \sum_{j=0}^m b_{z,j} x_{n-j}$$

где $a_{z,j}, b_{z,j}$ вещественные коэффициенты, зависящие от параметров объекта; y_{n-j}, x_{n-j} значения соответственно входного и выходного сигналов объекта в моменты времени $(n-j)h$, h - шаг дискретизации времени.

При моделировании объекта на ЦВМ приходится решать задачу о переходе от непрерывной передаточной функции к дискретной. Известно несколько способов перехода от непрерывной к дискретной модели. Один из наиболее распространенных разностных способов основан на замене фигурирующих в дифференциальном уравнении производных первыми разностями. Распространенным на практике является также способ подстановки или "метод Тастина", формально вытекающий из сравнения формул, определяющих преобразование Лапласа и z -преобразование. К недостаткам этого подхода следует отнести низкую адекватность моделирующего цифрового фильтра аналоговому прототипу и относительно высокую вычислительную сложность.

В связи с этим предпочтительно использовать точный метод перехода к дискретной передаточной функции, который заключается в следующем:

- 1) производится разложение известной передаточной функции $W(p)$ объекта на элементарные дроби $W_i(p)$;
- 2) для полученных элементарных дробей находятся импульсные переходные функции $V_i(t)$ ($V(t) \xrightarrow{\text{---}} W(p)$);
- 3) находятся z -изображения импульсных переходных функций, равные искомым передаточным функциям (по таблице z -преобразования);
- 4) от z -изображений производится переход к разностным

уравнениям в оригиналах (к цифровым фильтрам).

Известно, что алгоритмы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений с помощью ЦВМ основаны на том или ином численном методе и поскольку любой алгоритм предполагает переход к разностным уравнениям, из этих разностных уравнений вытекают и дискретные передаточные функции. Получаемые таким способом дискретные передаточные функции по сравнению с функциями, определяемыми изложенным выше точным способом, будут приближенными, так как сами алгоритмы численного интегрирования приближены.

Для объектов с распределенными параметрами, описываемых уравнений в частных производных и их системами, передаточные функции могут содержать дробные степени, иррациональные и трансцендентные выражения комплексной переменной, что обуславливает необходимость использования специфических методов численного решения задач анализа протекающих в них процессов.

На основании анализа работ, посвященных вопросам исследования объектов, содержащих элементы с распределенными параметрами можно оценить общее состояние следующим образом.

1. Единого математического метода решения задач исследования объектов с распределенными параметрами пока нет. Различные авторы используют те приемы, которые кажутся им наиболее подходящими.

2. К числу наиболее приемлемых методов относятся: операционное исчисление, включая Z-преобразование, специальные функции Лаггера, Чебышева и др.

3. Получение любых конкретных решений требует расчетов на ЭВМ.

Рассмотрим группу способов моделирования объектов с распределенными параметрами, основанных на аппроксимации их исходных передаточных функций.

Передаточную функцию звена с распределенными параметрами $W(x, p)$, где x - пространственная переменная, можно аппроксимировать z-передаточной функцией вида

$$W(x, z) = \sum_{\ell=0}^{\ell_m} b_{\ell}(x) z^{-\ell}$$

которой соответствует теоретически реализуемое при конечном ℓ_m разностное уравнение

$$u(x, n) = b_0 u(0, n) + b_1 u(0, n-1) + \dots + b_m u(0, n-1).$$

Решение задачи определения коэффициентов $b_\ell(x)$, как и любой аппроксимационной задачи, является неоднозначным и в значительной мере эвристическим. Задача выполнима при использовании частотных передаточных функций при замене $z = \exp(j\omega T)$, $p = j\omega$, где T - период дискретизации времени. Это дает возможность определения b_ℓ исходя из уравнений

$$W(j\omega) = \sum_{\ell=0}^{\ell_m} b_\ell \exp(-\ell j\omega T).$$

Такой прием не является универсальным, однако является в целом ряде случаев весьма эффективным.

Еще одним способом синтеза моделей по динамическим характеристикам, заданным во временной области, является моделирование операции свертки. Операторному выражению $Y(p) = W(p)X(p)$ ($W(p)$ - заданная передаточная функция, $Y(p)$ и $X(p)$ - изображения выходного и входного сигналов) в пространстве оригиналов соответствует выражение

$$y(t) = \int_0^t V(t-\tau)x(\tau)d\tau \quad (2)$$

($V(t)$ - импульсная переходная характеристика объекта; $y(t)$, $x(t)$ - выходной и входной сигналы).

Реализовать оператор свертки (2) на ЭВМ можно путем разбиения интервала времени $0-t_n$ на ряд подинтервалов (метод подвижного начала), определяя значения интеграла в конце каждого подинтервала, т.е. в дискретных точках t_1, t_2, \dots, t_n .

Если выбрать длину подинтервала $\Delta t = t_{i+1} - t_i$, то

$$y_i = \int_0^{t_i} V(t_i - \tau)x(\tau)d\tau; \quad i = \overline{1, n} \quad (3)$$

и заменяя в (3) интегралы суммами, получим

$$y_i \approx \sum_{j=1}^i A_j V(t_i, \tau_j) x_j; \quad i = \overline{1, n},$$

где A_j - числовые коэффициенты, вычисляемые в соответствии с применяемой квадратурной формулой. Следует заметить, что в точках t_i , ($i = \overline{1, n}$) методическая погрешность минимальна и равна погрешности замены интегралов конечными суммами.

Для многих промышленных электромеханических объектов ре-

шение задач моделирования и идентификации связано с регистрацией нелинейных экспериментальных зависимостей, которые обычно представляются в дискретизированном виде. Для компьютерного моделирования зависимостей в этом случае предлагается использовать следующий метод нецелочисленной неполиномиальной аппроксимации. Пусть зависимость $f(x)$ зафиксирована в узлах X_i ($i=0, \dots, n$), причем $a = X_0 < X_1 < \dots < X_n = b$. Зависимость f аппроксимируется полиномом

$$f(x) \approx \tilde{f}(x) = \sum_{k=1}^r A_k x^{\alpha_k}, \quad r > 1,$$

где α_k - параметр, подлежащий определению наряду с A_k .

Минимизируя функционал ошибок

$$L(f, \tilde{f}) = \int_a^b (f(x) - \tilde{f}(x))^2 dx,$$

по параметрам A_k и α_k находится "наилучшее" приближение. При этом достигается возможность получать полиномы невысокой степени на сравнительно коротких интервалах, т.е. речь идет о применении сплайнов с дробными показателями степени.

В третьей главе рассмотрены программные и аппаратные средства моделирования управляемых электромеханических систем. Описаны структура программной моделирующей системы, устройство для реализации нелинейных операторов Вольтерра-Гаммерштейна, устройство для решения уравнений Вольтерра первого рода и для реализации соответствующего ему оператора.

Для проведения вычислительных экспериментов на ЭВМ по исследованию режимов и процессов, происходящих в управляемых ЭМС, разработано специальное программное обеспечение в виде исследовательской программной моделирующей системы. В основу функционирования системы положен структурно-модульный принцип, согласно которому каждому элементу моделируемого объекта поставлен в соответствие программный модуль.

Компоненты программной вычислительной системы разбиваются на две основные части: функциональную (вычислительную) и системную. К функциональной части относятся программы, непосредственно реализующие модели, а к системной - специализированные средства, обеспечивающие управление вычислительным процессом, т.е. организацию последовательности выполнения функциональных программ, обмен информационными массивами между

ними, хранение, редактирование, ввод и вывод данных. Модульная структура моделирующей системы позволяет значительно упростить ее эксплуатацию и развитие.

Для эффективной реализации процесса моделирования используется принцип квазипараллельных вычислений, что позволяет реализовать математические модели, содержащие структуры с обратными связями.

Функциональная часть моделирующей системы состоит из двух частей - модуля начальных параметров и собственно модуля модели. Первый модуль используется для настройки решающих модулей и вычисления начальных параметров состояния объекта (модели объекта). Второй модуль (модуль модели) представляется в виде набора решающих модулей, определенным образом соединенных между собой. Решающие модули, которые используются для синтеза модуля модели объединены в библиотеку функциональных модулей. Программные единицы библиотеки по функциональным признакам и назначению можно разделить на семь групп, каждая из которых сориентирована на решение следующих задач:

1. Моделирование линейных элементов ЭМС по математическому описанию в виде дробно-рациональных передаточных функций.

2. Моделирование линейных нестационарных элементов ЭМС, заданных в виде дробно-рациональных передаточных функций с переменными коэффициентами.

3. Моделирование линейных элементов по математическому описанию в виде интегрального оператора свертки.

4. Моделирование элементов ЭМС с гладкими нелинейными по математическому описанию, задаваемому пользователем в виде функциональных зависимостей.

5. Моделирование типовых статических нелинейностей.

6. Моделирование элементов с распределенными параметрами по математическому описанию в виде иррациональных и трансцендентных передаточных функций.

7. Моделирование элементов с распределенными параметрами по математическому описанию в виде импульсной переходной функции.

В четвертой главе приведены результаты исследований по решению задач моделирования управляемых электромеханических систем. Решаются: задача исследования динамики электропривода станка-качалки с синхронным электродвигателем, задача исследо-

вания системы автоматического регулирования дизельным двигателем с электрогидромеханическим регулятором, а также задача исследования системы автоматического управления электропривода летучих ножиц заготовочного стана.

Основные результаты работы:

1. На основе принципа множественности (неоднозначности) математического описания динамических объектов сформулирован и применен способ выбора динамических моделей основных видов электромеханических объектов с учетом характера решаемой задачи динамики.

2. Разработан комплекс разностных алгоритмов численной реализации динамических моделей основных типов элементов электромеханических систем с сосредоточенными параметрами.

3. Разработан метод дискретизации динамических моделей объектов с распределенными параметрами на основе приближения трансцендентных и иррациональных передаточных функций дробно-рациональными выражениями.

4. Разработан способ программной организации квазипараллельных вычислений при реализации моделей объектов, содержащих фрагменты с обратными связями.

5. Создана программная моделирующая система для исследования управляемых электромеханических систем, обладающая модульно-звеньевой структурой, а также свойствами повышенной гибкости и открытости, что обеспечивает решение широкого класса прямых и обратных задач динамики как в линейной, так и в нелинейной постановках с ориентацией на использование современных ЭВМ.

6. Разработаны структуры специализированных вычислительных устройств для реализации динамических моделей ЭМС как в виде линейных интегральных операторов так и в виде нелинейных интегральных операторов Вольтерра-Гаммерштейна и Вольтерра-Урьсона, а также для решения уравнения Вольтерра первого рода.

7. Решены важные для практики задачи исследования электромеханических систем, в том числе задача исследования устойчивости электропривода станка-качалки глубиннонасосной установки на базе синхронного электродвигателя с системой автоматического регулирования возбуждения; задача исследования режимов электропривода летучих ножиц заготовочного стана; задача исследования динамики для дизельного двигателя с электронной системой управления движением.

Список опубликованных работ по теме диссертации.

1. Верлань А. Ф., Максимович Н. А., Федорчук В. А. Программная система моделирования электромеханических объектов на мини- и микроЭВМ. // Электронное моделирование. - 1990. - №5. - С. 101-103.
2. Али-Заде П. Г., Кулиев А. С., Федорчук В. А. Исследование динамики электропривода нефтепромыслового механизма методом структурного моделирования на ПЭВМ. // Электронное моделирование. - 1992, №6. - с. 78-82.
3. Максимович Н. А., Коваленко А. Е., Федорчук В. А., Кипенников А. Б. Реализация нелинейных интегральных динамических моделей электроэнергетических объектов средствами машинного моделирования. // Проблемы нелинейной электротехники: Тез. докл. 3-ей всесоюз. науч. техн. конф. (Черкассы, сент., 1988) - Киев, ИПМЭ АН УССР, 1988 - Ч. 2, - С. 28-29.
4. Максимович Н. А., Федорчук В. А. Типовой блок специализированной аналоговой машины для решения интегрального уравнения задачи восстановления сигналов. // Интегральные уравнения в прикладном моделировании: Тез. докл. 3-ей республ. науч. техн. конф. (г. Одесса, ноябрь, 1989) - Киев, ФОЛ ИЭД АН УССР, 1989, - Ч. 1, - С. 109-110.
5. Максимович Н. А., Ковалев Д. В., Федорчук В. А. Функционально-ориентированное вычислительное устройство для коррекции динамических характеристик инерционных элементов в энергетических системах. // Функционально ориентированные вычислительные системы: Тез. докл. респ. науч. техн. конф. (г. Алушта, 4-6 окт. 1990г.) - Харьков: ХПИ, 1990 - Ч. 2. - С. 40-42.
6. Ковалев Д. В., Федорчук В. А. Таймер для параллельных вычислительных систем. В сборнике: Конверсные вычислительные системы. Тезисы докладов и сообщений второго Всесоюзного совещания. 31 мая - 1 июня 1998. - 207 с.
7. Верлань А. Ф., Максимович Н. А., Федорчук В. А. Устройство для моделирования интегральных уравнений Вольтерра первого рода. А. С. 1725236, - БИ 13/92.

Стефанік

Подписано к печати 14.05.1973г. Формат 60x84/16
Бумага офсетная Усл.-печ.лист.1,0 Уч.-изд.лист 1,0.
Тираж 100. Заказ 568. Бесплатно

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.

465880

AB 27.524