

На правах рукописи

ПЛОТНИКОВА Наталья Валерьевна

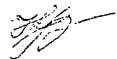
РГБ ОД

24 MAR 2000

**АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА
КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
МЕТОДАМИ ВЫПУКЛОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Специальность 05.13.14 – “Системы
обработки информации и управления”

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Челябинск – 2000

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор
Черноруцкий Г.С.;

доктор технических наук, профессор
Жабреев В.С.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Шестаков А.Л.;

кандидат технических наук, доцент
Кошцев А.А.

Ведущая организация – НПО “Электромеханика”, г.Миасс.

Защита диссертации состоится “16” февраля 2000 г., в 15⁰⁰ ч. на заседании диссертационного совета Д 053. 13. 06 при Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ауд. № 244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан “10” января 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., проф.



М. Н. Устюгов

3965-015с116,0

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Существенным фактором, влияющим на качество систем автоматического управления, является нестабильность параметров.

Существует довольно широкий класс стационарных динамических систем с неизменной структурой, но со случайными параметрами, а также систем, параметры которых изменяются с течением времени весьма медленно по сравнению с протеканием переходных процессов.

Изменения параметров могут быть весьма существенными и, в конечном счете, привести не только к ухудшению динамических свойств, но и к потере устойчивости. Построение систем автоматического управления, качество работы которых не зависит или в малой степени зависит от изменения своих параметров, приводит к решению задач проектирования параметрически инвариантных, с нулевой чувствительностью или малочувствительных систем управления. Эти проблемы решались в различных работах по теории чувствительности, методам оптимизации, теории адаптивных систем. Российскими и зарубежными учеными созданы целые направления (школы): адаптивное и модальное управление электроприводами (Башарин А.В., Борцов Ю.А., Кулешов В.С., Лакота Н.А. и др.); статистический анализ стохастических систем (Казаков И.Е., Михайлов Ф.А. и др.); проектирование и исследование систем с нестабильными параметрами (Евланов Л.Г., Ходько С.Т., Солодов А.В. и др.); теория чувствительности (Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М., Рутман Р.С., Томович Р. и др.); теория оптимальных систем (Сейднс Э.П., Поцелуев А.В., Фельдбаум А.А. и др.); исследование квазистационарных стохастических систем (Черноруцкий Г.С., Жабреев В.С., Шестаков А.Л., Подлинева Т.К., Барькин С.Г., Ширяев В.И., Червяков В.Б. и др.).

Методы анализа, предложенные в этих работах, предполагают сложное аналитическое описание систем, не учитывается случай мультипликативности случайных параметров, синтез квазистационарных стохастических систем представляет многошаговый итерационный процесс со сложными предварительными расчетами.

Поэтому весьма актуальной становится необходимость длительной (на весь период работы в промышленных условиях) оптимизации систем,

реализуемой средствами пассивной коррекции, с целью обеспечения требуемых показателей качества работы во всем диапазоне изменения всех случайных параметров. Наиболее целесообразным является использование методов выпуклого программирования, так как они позволяют учесть большое число ограничений, не требуют большого объема памяти и позволяют решить задачу за один шаг.

Целью работы является разработка линейных и нелинейных математических моделей квазистационарных стохастических систем с учетом мультипликативности случайных параметров и создание алгоритмов анализа и синтеза на основе методов выпуклого программирования.

Задачи исследования. Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

1. Создать математическое описание линейных квазистационарных стохастических систем на основе семейства частотных характеристик, позволяющих с достаточной степенью точности рассчитать семейство временных характеристик и определить разброс показателей качества во всем диапазоне изменения случайных параметров.

2. Разработать алгоритм анализа нелинейных моделей квазистационарных стохастических систем на основе семейства частотных характеристик, позволяющий определить вероятность возникновения автоколебаний с учетом случайности параметров линейной и нелинейной частей.

3. Разработать алгоритм синтеза корректирующего устройства, обеспечивающего работу квазистационарной стохастической системы во всем диапазоне изменения случайных параметров, методами выпуклого программирования.

4. Разработать методику анализа и синтеза квазистационарных стохастических систем методами выпуклого программирования.

Методы исследования

Теоретические исследования и цифровое моделирование базируются на использовании методов статистического анализа, теории автоматического управления, математического программирования.

Теоретические результаты и их новизна

1. Модифицированное математическое описание семейства частотных характеристик на основе сплайн-аппроксимации и алгоритм их построения как огибающих эллипсов рассеивания.

2. Алгоритм анализа разброса колебательности и показателей качества по семействам частотных и временных характеристик.

3. Формулы для определения вероятности возникновения автоколебаний в нелинейных квазистационарных стохастических системах.

4. Алгоритм синтеза квазистационарных стохастических систем методами выпуклого программирования.

Практическая значимость

1. Методика анализа разброса прямых и косвенных показателей качества квазистационарных стохастических систем на основе семейства частотных характеристик.

2. Методика синтеза квазистационарных стохастических систем методами выпуклого программирования, позволяющая решить задачу синтеза корректирующих устройств для всего диапазона изменения случайных параметров за один этап.

3. Программы, реализующие алгоритмы анализа и синтеза квазистационарных стохастических систем.

Полученные результаты могут быть использованы при расчете и проектировании систем автоматического управления, относящихся к классу квазистационарных стохастических, в частности, следящих систем манипуляционных роботов. Предложенные методы и алгоритмы позволяют определить разброс показателей качества по ансамблю систем, по различным режимам работы одной и той же системы, т.е. провести длительную оптимизацию систем, что в конечном счете обеспечивает увеличение функциональной надежности.

Внедрение и практическое использование результатов

Основные положения диссертации внедрены в учебный процесс кафедры "Системы управления" Южно-Уральского государственного университета; использованы при проектировании специальных систем в ОАО НИИИТ, г. Челябинск.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на первой региональной конференции "Интеллектуальные информационные технологии и стратегии в системной информатизации Уральского региона" (г. Челябинск, 1995 г.), 49-й научно-технической конференции (г. Челябинск, 1997 г.), 50-й научно-технической конференции (г. Челябинск, 1998 г.), 9-й

научно-технической конференции “Экстремальная робототехника” (г. С.-Петербург, 1998 г.).

Публикации

Результаты исследования опубликованы в 8 работах.

Структура и объем диссертации

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 53 наименований и 4 приложений. Общий объем работы, включая список литературы и приложения, составляет 155 страниц текста.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении приводится обоснование актуальности темы диссертационной работы, формулируется цель и основные задачи исследования, показана научная новизна диссертации.

В первой главе приводится обзор существующих методов анализа и синтеза квазистационарных стохастических систем.

К классу квазистационарных стохастических систем относятся следующие системы манипуляционных роботов. Причинами нестационарности являются изменение положения схвата манипулятора относительно основания, изменение массы переносимого груза, движение робота-манипулятора (изменение соотношения масс), дрейф нуля, изменение сопротивления и емкости радиоэлементов, что приводит к изменению постоянных времени, моментов инерции, коэффициентов упругости в 2...10 раз.

По признаку детерминированности, недетерминированности и случайности системы могут быть классифицированы следующим образом (табл. 1). Системы со случайными параметрами являются частным случаем стохастических стационарных систем.

Причины, вызывающие изменения параметров, большой диапазон этих изменений, а также тот факт, что численные значения параметров или изменяются достаточно медленно или подбираются случайно, сохраняя стационарность на некотором промежутке времени позволяют выделить отдельный класс систем – квазистационарных стохастических второй модели, для анализа и синтеза которых могут быть предложены специальные методы.

№	Входной сигнал	Процесс преобразования сигнала	Свойства преобразования сигналов во времени	Классификация систем	
				Детерминированные	Стационарные
1	Неслучаен	Неслучаен	Не изменяются	Детерминированные	Стационарные
2	Случаен				Нестационарные внешне
3	Неслучаен	Случаен	Не изменяются	Недетерминированные стохастические	Стационарные
4			Изменяются		Нестационарные внутренне
5	Случаен		Не изменяются		Нестационарные внешне
6			Изменяются во времени		Нестационарные

Для анализа стохастических систем используются следующие методы: статистический анализ, теория чувствительности, частотные методы.

Исследование систем с помощью статистического анализа приводит к определению математических ожиданий и корреляционных функций выходных переменных. Но не для всех систем эти оценки являются достаточными или подходящими.

Анализ квазистационарных стохастических систем наиболее полно осуществляется по семейству частотных характеристик, учитывающих вариации реальных физических параметров. В предложенных ранее работах не уделяется внимания точности построения этого семейства, не установлена связь этих характеристик с прямыми показателями качества. Поэтому необходимо модифицированное математическое описание, позволяющее учесть мультипликативность случайных параметров и уменьшить число характеристик, описывающих систему.

В общей постановке задача синтеза является вариационной. Большое распространение получили методы математического программирования, заключающиеся в определении экстремума функций многих переменных при ограничениях в виде системы равенств и неравенств. Достоинствами этих методов являются: достаточно простой учет сложных ограничений на переменные состояния и управления, небольшой объем памяти (как при динамическом программировании). Использование методов выпуклого

программирования позволяет подобрать одно корректирующее устройство во всем диапазоне изменения случайных параметров за один этап.

Синтез квазистационарных стохастических систем в общей постановке является задачей математического программирования, причем в качестве критерия оптимальности может служить функция Михайлова, поэтому необходимо разработать алгоритмы синтеза, учитывающие связь функции Михайлова с заданными показателями качества системы и параметрами корректирующих устройств при вариации ряда параметров системы.

Во второй главе приводится модифицированное математическое описание и анализ квазистационарных стохастических линейных и нелинейных систем на основе семейства обратных частотных характеристик, алгоритмы построения семейства частотных и временных характеристик и анализа систем по этим семействам.

Широкий класс квазистационарных стохастических систем описывается передаточными функциями в неканонической форме записи:

$$W_1(p) = \frac{q_1 A(p)}{\sum_{i=1}^l q_i D_i(p) + \sum_{i=1}^l \sum_{j=i+1}^l q_i q_j G_{ij}(p) + \dots + \prod_{i=1}^l q_i S(p) + Z(p)}, \quad (1)$$

$$W_2(p) = \frac{\Lambda(p)}{\sum_{i=1}^l q_i D_i(p) + \sum_{i=1}^l \sum_{j=i+1}^l q_i q_j G_{ij}(p) + \dots + \prod_{i=1}^l q_i S(p) + Z(p)}, \quad (2)$$

где q_i ($i=1, l$) – случайные параметры, $A(p)$, $D_i(p)$, ..., $Z(p)$ – полиномы, не зависящие от них.

Обратные передаточные функции могут быть приведены к виду

$$W_2^{-1}(p) = \sum_{i=1}^l q_i \tilde{D}_i(p) + \sum_{i=1}^l \sum_{j=i+1}^l q_i q_j \tilde{G}_{ij}(p) + \dots + \prod_{i=1}^l q_i \tilde{S}(p) + \tilde{Z}(p), \quad (3)$$

где полиномы $\tilde{D}_i(p)$, $\tilde{G}_{ij}(p)$, ..., $\tilde{Z}(p)$ представляют собой подобные слагаемые при соответствующих случайных параметрах.

Статистические характеристики системы:

1) математическое ожидание обратной амплитудно-фазовой характеристики (ОАФХ) системы

$$M\{W^{-1}(j\omega)\} = \sum_{i=1}^l M\{\tilde{q}_i\} \tilde{D}_i(j\omega) + \sum_{i=1}^l \sum_{j=i+1}^l M\{\tilde{q}_i \cdot q_j\} \tilde{G}_{ij}(j\omega) + \dots + M\left\{\prod_{i=1}^l \tilde{q}_i\right\} \tilde{S}(j\omega) + \tilde{Z}(j\omega); \quad (4)$$

2) центрированная ОАФХ системы

$$M\{W^{-1}(j\omega)\} = \tilde{D}_i(j\omega) \cdot \sum_{i=1}^l [\tilde{q}_i - M\{\tilde{q}_i\}] + \tilde{G}_{ij}(j\omega) \cdot \sum_{i=1}^l \sum_{j=i+1}^l [\tilde{q}_i \cdot q_j - M\{\tilde{q}_i \cdot q_j\}] + \tilde{S}(j\omega) \cdot \left[\prod_{i=1}^l \tilde{q}_i - M\left\{\prod_{i=1}^l \tilde{q}_i\right\} \right]; \quad (5)$$

3) дисперсии ОАФХ системы по вещественной и мнимой частям определяются как математическое ожидание квадрата модуля соответствующей части;

4) средние квадратические отклонения по вещественной и мнимой частям определяются как квадратные корни из дисперсий соответствующих частей.

Выделение с.к.о. по вещественной и мнимой частям позволило разработать алгоритм построения семейства частотных характеристик, особенностью которого является то, что среднеотклоненные и предельноотклоненные характеристики представляют из себя огибающие эллипсов рассеивания, описываемых уравнениями

$$\left(\frac{X - C_X(\omega)}{\sigma_R(\omega)}\right)^2 + \left(\frac{Y - C_Y(\omega)}{\sigma_I(\omega)}\right)^2 = 1, \quad (6)$$

центры которых с ростом частоты двигаются по средней характеристике, а полуоси увеличиваются в разной степени друг относительно друга в зависимости от вида и параметров обратных частотных характеристик и уравнения огибающих получены на основе сплайн-аппроксимации и представляют собой компактное аналитическое описание семейства частотных характеристик (рис. 1).

По семейству обратных частотных характеристик (средней, двум среднеотклоненным и двум предельноотклоненным) можно оценить запасы устойчивости, используя критерий Найквиста для инверсных характеристик, и показатель колебательности. Для этого на плоскости обратных

частотных характеристик строятся линии равных значений показателя колебательности по выражению

$$W_M^{-1}(j\omega) = \frac{-1 + j\omega}{\frac{M}{M-1} + j\omega \frac{M}{M+1}}, \quad \omega \in]-\infty; +\infty[. \quad (7)$$

Математическое описание семейства частотных характеристик позволяет рассчитать семейство переходных процессов

$$h(t) = \int_0^{\infty} \frac{\operatorname{Re} \left[\left(I + W^{-1}(j\omega) \right)^{-1} \right] \cdot \sin \omega t}{\omega} d\omega. \quad (8)$$

Имея семейство переходных процессов, соответствующих средней частотной ОАФХ, двум среднеотклоненным и двум предельноотклоненным характеристикам определяется семейство весовых функций, по которому можно определить реакцию системы на любое типовое воздействие с помощью интеграла свертки.

Для расчетов используется математический аппарат сплайн-аппроксимации.

Для анализа вероятности возникновения автоколебаний в нелинейных системах также можно использовать семейство обратных частотных характеристик, воспользовавшись уравнением гармонического баланса.

Для однозначных нелинейностей вероятность возникновения автоколебаний в системе в зависимости от вида нелинейности определяется по следующим формулам:

$$P(S) = P\langle r > K_a \rangle = \int_0^{\infty} dr f(r) \int_0^r dK_a f(K_a), \quad (9)$$

$$P(S) = P\langle r < K_a \rangle = \int_0^{\infty} dr f(r) \int_r^{\infty} dK_a f(K_a). \quad (10)$$

Если случайна только линейная часть, то

$$P(S) = \int_0^K dr f(r). \quad (11)$$

Если случайно только нелинейное звено, то

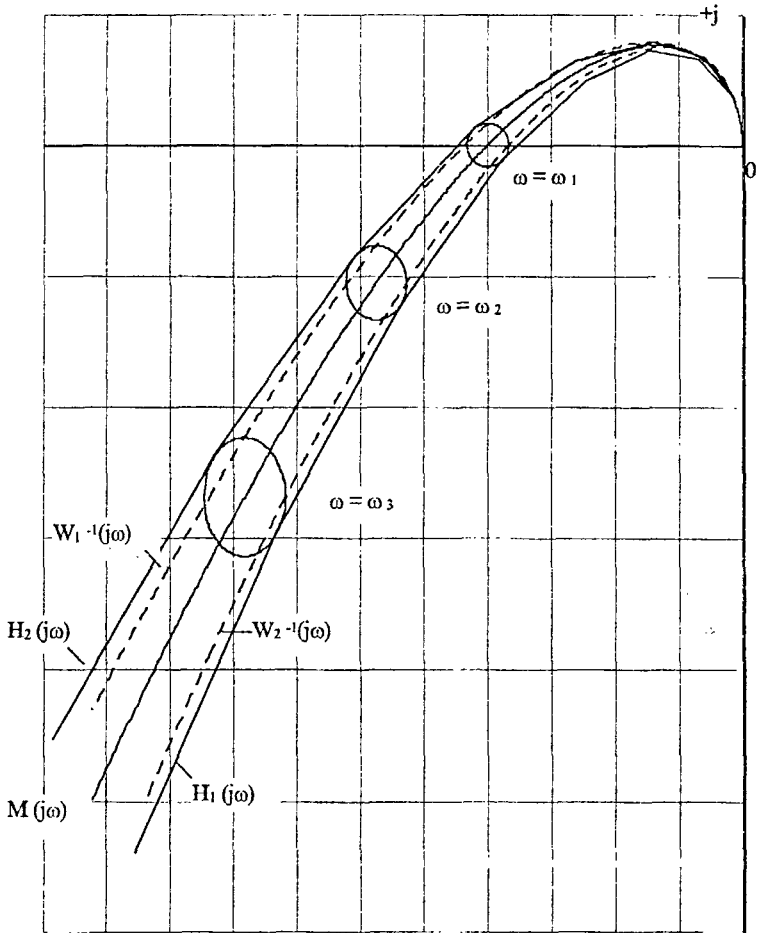


Рис. 1. Семейство частотных характеристик квазистационарной стохастической системы:

$M(j\omega)$ – средняя характеристика;

$W_1^{-1}(j\omega)$, $W_2^{-1}(j\omega)$ – характеристики, построенные по отклонениям по вещественной и мнимой частям:

$$W_1^{-1}(j\omega) = M(j\omega) + \sigma_R,$$

$$W_2^{-1}(j\omega) = M(j\omega) + j\sigma_I;$$

$H_1(j\omega)$, $H_2(j\omega)$ – огибающие семейства эллипсов

$$P(S) = \int_0^r dK_a f(K_a), \quad (12)$$

или

$$P(S) = \int_0^{\infty} dK_a f(K_a). \quad (13)$$

Для определения возникновения автоколебаний в системах с неоднозначными нелинейностями используется графический метод. Если параметры системы случайны, вместо одной характеристики будет семейство характеристик, состоящее из средней, двух среднесклоненных и двух предельноотклоненных характеристик (рис. 2). Этот метод позволяет определить диапазон амплитуд входных сигналов, при которых в системе с вероятностью 1 возникают автоколебания.

В третьей главе приводятся алгоритмы синтеза квазистационарных стохастических систем методами выпуклого программирования.

Применительно к квазистационарным стохастическим системам задача коррекции формулируется следующим образом: необходимо подобрать такое корректирующее устройство, чтобы значение показателя качества (целевой функции) было минимальным при наличии ограничений во всем диапазоне изменения всех случайных параметров.

Полная система уравнений пространства состояний стохастической квазистационарной системы управления запишется в виде

$$\begin{aligned} M^* \dot{x} &= A^* x + B^* u, \\ y &= Cx, \end{aligned} \quad (14)$$

где M^*, A^*, B^* – математические ожидания матриц M, A, B , содержащие статистически осредненные значения коэффициентов.

Так как динамические свойства системы определяются, главным образом, ее полюсами, т.е. корнями характеристического уравнения, поэтому желаемое расположение полюсов на комплексной плоскости может быть обеспечено введением модального регулятора, т.е. линейной обратной связи по вектору состояния:

$$u = v - kx. \quad (15)$$

Существование матрицы обратной связи k может быть гарантировано только в том случае, если объект полностью управляем.

$$-[q(a) + j b(a)] = X(\omega) + Y(\omega)$$

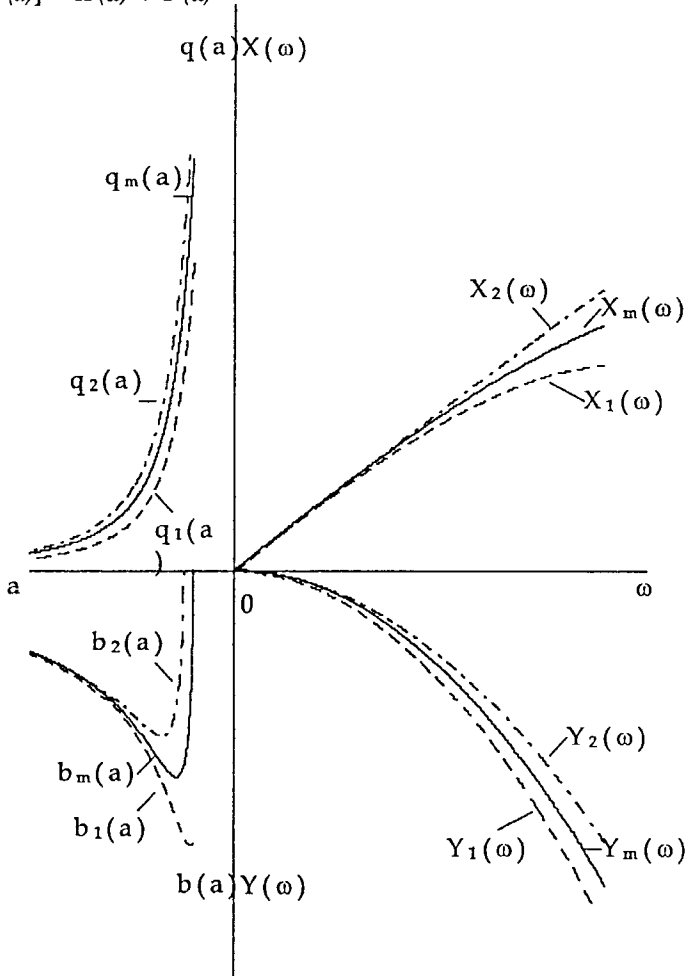


Рис. 2. Графический метод определения вероятности возникновения автоколебаний в нелинейной квазистационарной стохастической системе:

$X_m(\omega)$, $Y_m(\omega)$, $q_m(a)$, $b_m(a)$ – математические ожидания соответствующих характеристик; $X_1(\omega)$, $Y_1(\omega)$, $q_1(a)$, $b_1(a)$, $X_2(\omega)$, $Y_2(\omega)$, $q_2(a)$, $b_2(a)$ – среднеотклоненные характеристики.

Для создания желаемого характеристического полинома используется прямой корневой метод синтеза.

Приравнивая коэффициенты желаемого характеристического уравнения и уравнения с модальной коррекцией, получаем систему ограничений, которая всегда нелинейна относительно значений корней желаемого характеристического полинома и линейна относительно коэффициентов корректирующих устройств, число которых совпадает с порядком системы.

Введение модальной коррекции обеспечивает однозначное соответствие между корнями желаемого характеристического полинома и параметрами корректирующих цепей.

Для использования методов выпуклого программирования в вектор оптимизируемых параметров вводятся доминирующие корни. Существование области решения обеспечивается введением в систему ограничений-неравенств, характеризующих характер и область расположения доминирующих корней. Предлагается задавать ограничения на ближайшие корни таким образом, чтобы обеспечивалась квадратичность уравнений относительно всех переменных задачи математического программирования.

Переменными задачи синтеза как задачи выпуклого программирования являются компоненты вектора K , состоящего из трех векторов K_1 , K_2 и K_3 ; первый вектор состоит из n компонентов — параметров корректирующих устройств; второй включает k составляющих, характеризующих желаемое расположение k доминирующих корней характеристического уравнения (для трех доминирующих корней вектор K_2 содержит три компоненты, для двух — две); третий вектор состоит из 2^*k компонентов, являющихся дополнительными переменными, вводимыми специально для перехода от ограничений-неравенств к ограничениям-равенствам.

В общем виде система ограничений включает линейную часть, полученную в результате введения модальной коррекции, и квадратичную часть, полученную в результате задания ограничений на доминирующие корни.

Вектор-столбец правых частей ограничений размером $[(n+6) \times 1]$, состоит из трех компонентов, включающих вектор-столбец правых частей ограничений-равенств размером $[n \times 1]$, полученный в результате приравнивания коэффициентов характеристического полинома системы с мо-

дальней коррекцией и желаемого полинома и два вектор-столбца ограниченный, накладываемых на желаемые доминирующие корни и

В качестве целевой функции выбрана статистическая частотная характеристика системы – дисперсия функции Михайлова (в смысле однозначного соответствия свойств функции Михайлова качественным показателям свободной составляющей переходного процесса). Представляя коэффициенты функции Михайлова в виде

$$a_i = a_i(\bar{q}, \bar{k}) = \sum_{j=1}^n k_j \cdot \left[\sum_{k=1}^l q_k h_{ijk} + \dots \prod_{k=1}^l q_k r_{ij} + c_i \right] + \sum_{k=1}^l q_k s_{ijk} + \dots \prod_{k=1}^l q_k t_{ij} + d_i$$

и отбрасывая слагаемые, не зависящие от параметров задачи, выражение для дисперсии функции Михайлова может быть записано в матричном виде:

$$F = K_1^T Q K_1 + P K_1, \quad (16)$$

где элементы матриц Q и P зависят от статистических характеристик случайных параметров и соответствующих коэффициентов вещественной и мнимой частей функции Михайлова.

Использование в качестве коррекции метода модального управления обеспечивает квадратичность целевой функции относительно параметров корректирующих цепей.

В результате такого выбора метода управления, критерия оптимальности и введения ограничений задача синтеза квазистационарной стохастической системы может быть решена методами выпуклого программирования.

В четвертой главе был произведен расчет двух следящих систем манипуляционных роботов: электромеханической и электрогидравлической.

Расчет электромеханической системы 3-го порядка показал, что при вариации случайного параметра момента инерции нагрузки одинаковые показатели качества получаются, если ближайшими корнями являются комплексно-сопряженные и если ближайший корень – вещественный. При этом улучшение показателей качества возможно при другом варианте выбора корней, но при этом увеличивается дисперсия функции Михайлова.

Для анализа качественных показателей системы с модальной коррекцией была рассчитана эта же система с последовательным корректирующим устройством. Сравнительный анализ показателей качества (время ре-

гулирования и перерегулирование) двух систем: системы с последовательной коррекцией и синтезированной методами выпуклого программирования приведен в табл. 2.

Таблица 2

Значения случайного параметра J_n	Система, синтезированная методами выпуклого программирования		Система с последовательной коррекцией	
	t_p	σ	t_p	σ
$J_n=0.001$	0.23	0	0.17	43.4
$J_n=0.0505$	0.28	8.4	0.33	31.2
$J_n=0.1$	0.39	22.41	0.75	36.7

Анализ полученных результатов показывает, что система, синтезированная методами выпуклого программирования, имеет качественные показатели не хуже, а для максимального значения случайного параметра и лучше, чем система с последовательной коррекцией. Сама методика синтеза достаточна проста: если качественные показатели по каким-либо причинам не удовлетворяют проектировщика, необходимо просто задать другое желаемое расположение корней и произвести повторный расчет, при этом настройка системы может осуществляться как на номинальные, так и на максимальные значения случайных параметров и нет необходимости выполнять дополнительные вычисления.

На рис. 3. приведен график зависимости дисперсии функции Михайлова от движения по области допустимых решений для трех вариантов выбора доминирующих корней для электрогидравлической системы. Полученные значения доминирующих корней и минимального значения дисперсии функции Михайлова приведены в табл. 3.

Таблица 3

№	Значения корней			Значение D_1	
1	$-69 \pm j71$	-400	-3765	-1000	2.243×10^{24}
2	$-60 \pm j80$	-300	-3765	-1000	1.307×10^{24}
3	$-90 \pm j50$	-700	-3765	-400	1.301×10^{24}

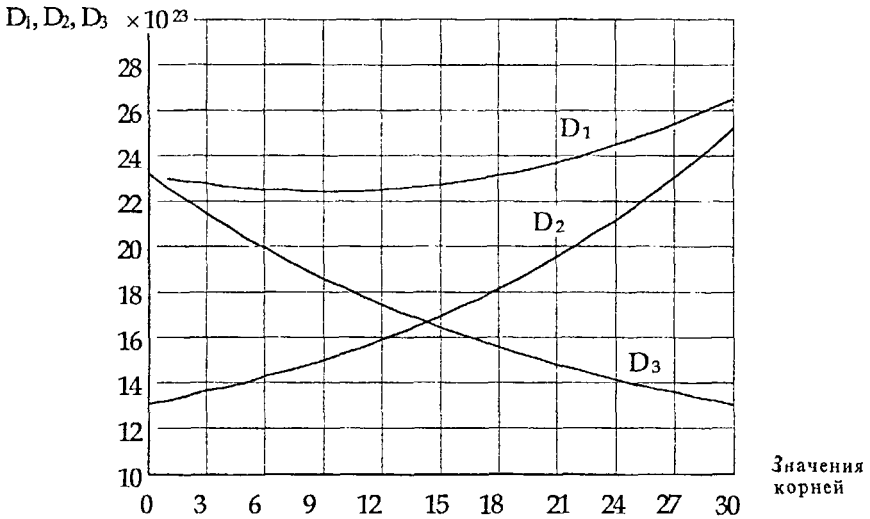


Рис. 3.

Синтез этой системы методами выпуклого программирования показал уменьшение значения дисперсии функции Михайлова по сравнению с расчетом такой же системы посредством градиентных способов.

Разработанная методика синтеза применима для систем достаточно высокого порядка (при большом порядке ограничения определяются возможностями вычислительной техники). При этом, закон распределения случайных параметров существенного значения не имеет, так как при выводе математических соотношений он не используется. Ограничением методики является необходимость знания набора случайных параметров.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Разработан алгоритм анализа квазистационарных стохастических систем, основанный на использовании семейства обратных частотных характеристик (средней, двух среднеотклоненных и двух предельноотклоненных), позволяющий оценить запасы устойчивости и показатель колебательности для всего диапазона изменения случайных параметров. Анали-

тическое описание семейства частотных характеристик на основе сплайн-аппроксимации позволяет повысить точность математической модели, получить семейство временных характеристик и оценить разброс показателей качества системы при типовых входных воздействиях с учетом вариации параметров.

2. Разработан алгоритм анализа нелинейных квазистационарных стохастических систем по семейству обратных частотных характеристик. Получены соотношения для определения вероятности возникновения автоколебаний с учетом случайности параметров линейной и нелинейной частей.

3. Задача синтеза квазистационарной стохастической системы решена методами выпуклого программирования. В качестве системы ограничений выступает система уравнений, устанавливающая соответствие между коэффициентами корректирующих устройств, реальными параметрами системы и областью расположения желаемых корней характеристического уравнения.

Использование модального управления обеспечивает линейность системы ограничений относительно параметров корректирующих устройств, введение ограничений на характер и область расположения корней обеспечивает существование решения задачи выпуклого программирования.

Целевой функцией является дисперсия функции Михайлова, вид которой определяет характер переходного процесса, и при модальной коррекции представляет собой квадратичную зависимость от коэффициентов корректирующих цепей.

4. Разработан алгоритм синтеза квазистационарной стохастической системы на основе метода выпуклого программирования. Особенностью алгоритма является введение в вектор оптимизируемых параметров доминирующих корней, что приводит к упрощению задачи и позволяет рассчитать одно корректирующее устройство для всего диапазона изменения случайных параметров за один этап достаточно известными и разработанными методами выпуклого, а в некоторых случаях и квадратичного программирования.

5. Расчеты следящих систем манипуляционных подтверждают правильность теоретических положений диссертационной работы.

Результаты расчетов на ЭВМ квазистационарной стохастической электромеханической следящей системы манипуляционного робота показали, что по сравнению с последовательной коррекцией улучшились показатели качества переходных процессов – уменьшилось время регулирования (в 1.5 раза) и перерегулирование (в 4÷5 раз), особенно для максимального значения случайного параметра.

Синтез квазистационарной стохастической электрогидравлической следящей системы методами выпуклого программирования показал уменьшение дисперсии функции Михайлова по сравнению с расчетом такой же системы посредством градиентных способов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Плотникова Н. В. (Крымская Н. В.) Автоколебания в нелинейных системах со случайными параметрами: Препринт. – Челябинск: ЧГТУ, 1994. – 19 с.

2. Плотникова Н. В. (Крымская Н. В.) Метод математического программирования в задачах синтеза систем со случайными параметрами: Препринт. – Челябинск: ЧГТУ, 1994. – 16 с.

3. Плотникова Н. В. Причины вариации параметров следящих систем манипуляторов // Элементы и приборы систем управления: Сб. научн. трудов. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – С.79–82.

4. Плотникова Н.В. Метод анализа и синтеза квазистационарных стохастических систем// Первая региональная конференция “Интеллектуальные информационные технологии и стратегии в системной информатизации Уральского региона” (Челябинск, 26 – 29 октября 1994 г.): Тез. докл. – Челябинск: ЧГТУ, 1995. – С. 65–66.

5. Плотникова Н.В. Динамика манипуляционного робота с электромеханической следящей системой// Радиоэлектроника. Автоматика. Телемеханика: Тем. сб. науч. тр. – Челябинск: ЧГТУ, 1998. – 4 с. (в печати).

6. Плотникова Н.В. Расчет переходных процессов в квазистационарных стохастических системах// Радиоэлектроника. Автоматика. Телемеханика. : Тем. сб. науч. тр. – Челябинск: ЧГТУ, 1998. – 2 с. (в печати).

7. Плотникова Н.В. Анализ и синтез следящих систем манипуляционных роботов // IX научно-техн. конф. “Экстремальная робототехника”:

Материалы конф. / Под ред. д-ра техн. наук Е.И. Юревича. – Спб.: СПбГУ, 1998. – С. 257 – 262.

8. Calculation for the Pulse Characteristic of Meter and Regeneration of the True Form of Disturbance Signal, Proceed. of Int. Symp. on Electromagn. Comp., Beijing, China, 1993. – P. 120 – 121.