

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
Севастопольский государственный технический университет

На правах рукописи

ГРУШИН Татьяна Александровна

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА
ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ

Специальность 05.13.03 - Системы и процессы управления

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Севастополь - 1996

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00754264 (S)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ

Севастопольский государственный технический университет

На правах рукописи



ГРУШИН Татьяна Александровна

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА
ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИИ

Специальность 05.13.03 – Системы и процессы управления

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Севастополь – 1996

687.3
Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в департаменте технической кибернетики
и в департаменте электроэнергетики Севастопольского
государственного технического университета.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Ф.Д. ПРЯШНИКОВ

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
В.А. ГАМСКИЙ
- кандидат технических наук, доцент
А.В. ЦУКАНОВ

Ведущая организация - Военно-морской институт Украины,
г. Севастополь

Защита диссертации состоится "21" марта 1996 г. в
14⁰⁰ часов на заседании специализированного ученого Совета
Д11.03.01 в Севастопольском государственном техническом
университете по адресу: 335053, г.Севастополь, Стрелецкая
балка, студгородок.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Севас-
топольского государственного технического университета.

Автореферат разослан "19" февраля 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета

АН Украины
А.Н. Шерешевский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Неопределенность характеристик в моделях современных систем автоматического управления (САУ), мультикритериальный характер требований к точности и показателям качества процессов управления усложняет задачу исследования систем. Принципиальной особенностью задачи повышения определенности моделей систем за счет информации об их желаемых физических свойствах является отсутствие универсальных методик перехода от заданных качественных свойств к модели системы. Это отчасти объясняется неоднозначностью перехода, так как одному и тому же набору свойств может соответствовать множество систем. Поэтому обычно составной частью задачи синтеза является многократный анализ систем, выбираемых по определенному правилу из множества вариантов. Обычно таких правил или требований несколько и они носят противоречивый характер. Наличие противоречивых характеристик приводит к необходимости выработки приоритетов, когда одни характеристики сознательно улучшаются за счет ухудшения других, что требует сочетания формальных и неформальных (экспертных) решений. Одним из методов принятия неформальных решений является получение достаточно информативной картины влияния параметров системы (настройки регулятора, коэффициента усиления, постоянных времени и т.д.) на ее качественные свойства. Для этой цели обычно строят в пространстве допустимых значений параметров системы области, соответствующие различным показателям качества. Множество значений параметров, соответствующих пересечению построенных областей, образуют область, удовлетворяющую многим критериям (критерию колебательности, степени устойчивости, принадлеж-

ности корней характеристического полинома заданным областям и т.д.). При отсутствии пересечения областей не существует формализованного алгоритма выбора и экспертные решения принимаются проектировщиком в зависимости от конкретных особенностей систем. Построение областей качества в общем случае осуществляется методами перебора точек области изменения допустимых значений параметров, то есть путем приближенной замены континуального множества значений параметров конечным и перебора элементов этого множества. Методы перебора, разработанные Вороновым А.А., Дидуком Г.А., Макфарлейном А., Сольниковым Р.И. широко используются в инженерной практике и обладают большой наглядностью. Но традиционные методы обеспечивают удовлетворительные результаты лишь для систем невысокого порядка и областей простой конфигурации. Их машинная реализация для сложных математических моделей характеризуется невысокой точностью, большим объемом вычислений и затрат ресурсов ЭВМ и не всегда гарантирует результат. Для этих методов возникает задача выбора шага изменения и максимального значения варьируемых параметров, которая не имеет общего удовлетворительного решения. Вышеперечисленные недостатки традиционного подхода к решению задачи параметрического исследования качества САУ определяют актуальность разработки общих непереборных машинно-ориентированных методов решения этой проблемы. В диссертации разработаны непереборные методы параметрического исследования качества, основанные на построении специальных полиномов, вычислении и анализе их положительных вещественных корней.

Ц е л ь д и с с е р т а ц и и заключается в разработке новых эффективных методов решения на ЭВМ задач параметрического исследования качества на основе построения областей

качества в пространстве параметров САУ. Эффективность разрабатываемых методов состоит в возможности построения областей качества в случаях, когда решение этой задачи известными методами приводит к большим, часто недопустимым затратам ресурсов ЭВМ, недопустимым количественным и качественным ошибкам или когда методы решения практически не разработаны.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены задачи:

1. Показаны и систематизированы ограничения существующих классических и машинно-ориентированных методов построения областей качества в пространстве параметров САУ.
2. Предложен подход к исследованию на ЭВМ качества в пространстве параметров САУ, основанный на построении и анализе множеств вещественных неотрицательных корней специальным образом конструируемых полиномов.
3. На основе применения множеств вещественных решений алгебраических уравнений разработаны методы параметрического исследования качества линейных непрерывных и непрерывно-дискретных САУ в комплексной области.
4. На основе предложенного подхода разработаны методы параметрического исследования качества линейных непрерывных САУ в частотной области.
5. Разработан алгоритм для вычисления на заданном интервале кратных вещественных корней полиномов, которые определяют границы областей качества.
6. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющие реализовать предложенные в диссертации методы в виде диалоговой системы автоматизированного исследования (САИ) качества в пространстве параметров САУ.
7. На базе разработанной САИ выполнены исследования САУ раз-

личной степени сложности, подтверждающие эффективность разработанных методов в практике научных исследований и инженерных разработок.

Методы исследования. Решение поставленных задач основано на методах теории автоматического управления, теории функций комплексной переменной, теории множеств, вычислительной математики.

Научная новизна. В диссертации разработан общий подход к параметрическому исследованию на ЭВМ качества линейных САУ в комплексной и частотной областях на основе построения областей качества в пространстве параметров САУ. Подход заключается в построении и анализе множеств вещественных неотрицательных решений специальным образом построенных алгебраических уравнений и систем алгебраических уравнений. Элементы этих множеств полностью определяют решение задачи построения областей качества в пространстве параметров. Такой подход, в отличие от традиционных методов, позволяет исключить необходимость решения задачи выбора шага изменения и предельных значений варьируемых параметров, которая не имеет общего удовлетворительного решения. Для задач построения областей с гарантированным показателем колебательности в пространстве параметров САУ теоретическое определение элементов таких множеств получено впервые.

Практическая ценность. Разработан общий подход к параметрическому исследованию на ЭВМ качества линейных САУ, позволяющий полностью формализовать алгоритм решения задачи, гарантировать результат, уменьшить объем вычислений и затрат ресурсов ЭВМ, повысить точность результатов при исследовании сложных моделей САУ. Разработаны машинно-ориентированные методы, основанные на общем подходе и

позволяющие повысить эффективность параметрического исследования качества САУ. На основе методов, предложенных в диссертации, разработано алгоритмическое и программное обеспечение САИ качества в пространстве параметров САУ.

Внедрение результатов. Работа выполнена в составе НИР департамента технической кибернетики Севастопольского государственного технического университета по госбюджетной теме "Гранит" N гос.регистрации 0193U007446, а также в составе НИР департамента электроэнергетики Севастопольского государственного технического университета по теме "Энергия" N гос.регистрации 0195U020085. Результаты работы внедрены в КБ опытного завода НПП "Оргтехавтоматизация" (г.Симферополь). Годовой экономический эффект, полученный при внедрении результатов диссертации составил 23.5 тыс. рублей в ценах до 1991 года. Ряд теоретических положений и практических разработок внедрены в учебный процесс по курсам "Теория автоматического управления", "Теория судовых автоматических систем", "Теория дискретных систем автоматического управления" (департамент технической кибернетики, департамент электроэнергетики Севастопольского государственного технического университета).

Апробация работы. Научные результаты и основные положения работы докладывались и обсуждались на школе-семинаре "Автоматизация проектирования информационных и управляющих систем" (Севастополь, 1992); I Украинской научно-методической конференции "ТЭКАВТОМАТИКА-93" (Алушта, 1993); I Украинской конференции по автоматическому управлению "Автоматик-94" (Киев: институт кибернетики, 1994); научных семинарах департамента технической кибернетики Севастопольского государственного технического университета.

П у б л и к а ц и и. По материалам диссертации опубликовано 7 печатных работ.

О б ъ е м и с т р у к т у р а р а б о т ы. Диссертационная работа состоит из введения, 5-ти разделов, заключения, списка использованной литературы, включающего 95 наименований. Основная часть работы изложена на 101 странице машинописного текста и содержит 17 рисунков.

В разделе 1 проведен анализ эффективности современных методов исследования на ЭВМ качества в пространстве параметров САУ, на основе которого показаны и систематизированы ограничения и недостатки этих методов. На основе теоретико-множественного подхода осуществлена постановка задачи параметрического исследования качества линейных САУ с использованием областей качества в пространстве параметров САУ. Предложен общий подход к исследованию на ЭВМ качества САУ в комплексной и частотной областях и направления разработки машинно-ориентированных методов для решения этих задач. Методы основаны на построении и анализе множеств вещественных неотрицательных корней специальных алгебраических уравнений и систем алгебраических уравнений. Рассмотрены общие методы решения алгебраических уравнений в вещественной области. Предложен алгоритм для вычисления кратных вещественных корней полиномов на заданном интервале.

В разделе 2 на основе общего подхода решения алгебраических уравнений разработаны методы построения областей принадлежности нулей характеристического полинома заданным областям комплексной плоскости линейных САУ по параметрам, линейно входящим в характеристический полином. Предложено обобщение этих методов на один класс непрерывно-дискретных САУ. Эффективность разработанных методов подтверждена решением

задач исследования качества в пространстве параметров привода робота-манипулятора и успокоителя качки судна.

В разделе 3 предложен метод построения областей, обеспечивающих заданный частотный показатель качества. Предлагаемое решение задачи построения границ областей, для каждой из которых показатель колебательности μ (максимальное значение модуля передаточной функции замкнутой системы) не превосходит заданного значения μ_{\max} , основано на едином подходе построения и анализа множеств неотрицательных вещественных корней определенным образом построенной системы алгебраических уравнений. Метод не требует традиционного перебора значений параметра, тем самым не требует многократного построения частотных характеристик. Предложенный метод значительно сокращает временные ресурсы ЭВМ и гарантирует получение верного решения.

Приведенные в диссертации методы доведены до программной реализации в виде САИ качества в пространстве параметров САУ. В разделе 4 рассматриваются вопросы, связанные с разработкой алгоритмического и программного обеспечения этой системы. Решение одного из основных вопросов связано с разработкой высокопроизводительного, гибкого и целостного интерактивного интерфейса пользователя в рамках современного объектно-ориентированного подхода.

Раздел 5 включает параметрическое исследование САУ движением судна по курсу и следящей системы профилировального станка на базе разработанной программной системы.

В заключении сформулированы результаты диссертационной работы, выносимые на защиту.

В приложении представлены акты о внедрении результатов диссертации, приведены характеристики программного обеспече-

ния САИ качества в пространстве параметров САУ, а также распечатки результатов решения практических задач, на которые есть ссылки в основном тексте диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе параметрическое исследование качества САУ осуществляется с помощью построения областей качества в пространстве параметров САУ.

Требования, предъявляемые к качеству процессов, должны быть учтены при выборе функционала качества. В работе выделены две проблемы: 1) назначение функционала, который отражал бы требуемые физические свойства системы; 2) разработка способов вычисления функционала. Определенные качественные характеристики САУ (корневые показатели качества) достигаются вследствие установления некоторых ограничений и условий на расположение корней характеристических полиномов. Поэтому при параметрическом исследовании качества в комплексной области в качестве функционала качества назначается принадлежность полюсов передаточной функции замкнутой системы заданной области комплексной плоскости. Учитывая многокритериальный характер синтеза, при параметрическом исследовании качества в частотной области функционалом качества является показатель колебательности САУ. Необходимость решения второй проблемы возникает в виду отсутствия общих методов как для областей с разными функционалами, так и для систем разных классов.

Построение на ЭВМ областей, внутри которых функционал качества не превышает заданного значения, представляет собой сложную задачу и может осуществляться: путем проверки качества в узлах некоторой сетки; выходом на границу области и слежения вдоль нее; методом D-разбиения; методом корневого

годографа. Эти методы обладают большой наглядностью, но в ряде случаев имеют невысокую точность, требуют большого объема вычислений и затрат ресурсов ЭВМ и не всегда гарантируют результат. Для этих методов возникает задача выбора шага изменения и предельного значения варьируемых параметров. Например, при построении корневых годографов решение задачи определения значений параметров, обеспечивающих принадлежность корней заданным областям, требует дополнительного сложного неформального анализа при отсутствии гарантированного результата. Эффективность разрабатываемых методов заключается в непосредственном построении границы области, удовлетворяющей заданному функционалу качества, в пространстве параметров с высокой достоверностью и приемлемыми затратами времени ЭВМ. Методы основаны на общем подходе построения и анализа множеств вещественных решений специальным образом построенных алгебраических уравнений.

На основе единого подхода решены следующие задачи.

Во-первых, предложен метод параметрического исследования качества САУ в комплексной области с использованием областей качества по параметру α , от которого линейно зависят коэффициенты характеристического полинома замкнутой САУ

$$q(p) = a(p) + \alpha b(p).$$

Предлагаемый метод решения поставленной задачи включает определение множества граничных точек $G = \{g_i\}_{i=1}^{n_g+1}$ интервалов изменения α , на каждом из которых полином $q(p)$ имеет одинаковое распределение корней (с учетом их кратности) относительно заданной многоугольной области Z (внутри области p_+ , вне области p_- и на границе области p_0). Область Z задана ее вершинами $z_i = \operatorname{Re} z_i + j \operatorname{Im} z_i$ ($i=1, \dots, q$).

Каждое i -е ребро многоугольной области представлено параметрическим уравнением

$$p(x) = z_i + (z_{i+1} - z_i)x, \quad (1)$$

где $x \in [0; c]$; c -вещественная переменная; $c=1$, если $i \neq n_z - 1$ или область ограниченная ($\text{Im}z_{n_z} = 0$); $c = \infty$, если $i = n_z - 1$ и область неограниченная ($\text{Im}z_{n_z} \neq 0$). Граничные точки G определены соотношениями, представляющими себе условие принадлежности корня i -му ребру области:

$$\exists x \in [0; c]: q(p(x)) |_{p(x) = z_i + (z_{i+1} - z_i)x} = a(x) + ab(x) = 0, \quad (2)$$

где $a(x)$ и $b(x)$ есть полиномы с комплексными коэффициентами.

Множество граничных точек G составляют вещественные значения a , удовлетворяющие равенству

$$a = a(x) / b(x), \quad (3)$$

где x удовлетворяют (2).

Элементы множеств вещественных неотрицательных корней из интервала $[0; c]$: $X_o = (x_{oi})_{i=1}^{n_o}$, $X_d = (x_{di})_{i=1}^{n_d}$ и их кратностей $K_o = (k_{oi})_{i=1}^{n_o}$ и $K_d = (k_{di})_{i=1}^{n_d}$ уравнений

$$\begin{aligned} c(x) &= a_1(x)b_2(x) - a_2(x)b_1(x) = 0; \\ d(x) &= b_1^2(x) + b_2^2(x) = 0, \end{aligned}$$

где $a_1(x) = \text{rea}(x)$, $a_2(x) = \text{im}(x)$, $b_1(x) = \text{reb}(x)$, $b_2(x) = \text{imb}(x)$ - полиномы с вещественными коэффициентами, для каждого ребра области определяют вещественные значения a при подстановке в равенство (3). Анализ найденных корней и их кратностей позволяет установить характер поведения годографа в некотором конечном множестве точек пространства параметров. Это мно-

жество полностью определяет решение задачи построения областей качества в пространстве параметров САУ, обеспечивающих принадлежность нулей характеристического полинома заданным областям комплексной плоскости. Показано, что для полиномов высокого порядка предлагаемый метод является единственно возможным эффективным способом определения областей изменения параметров, обеспечивающих заданное распределение корней полиномов.

Предложено обобщение этого метода на случаи построения областей изменения двух и трех параметров, от которых линейно зависят коэффициенты характеристического полинома, и обеспечивающих заданное распределение нулей полинома. Предлагается несколько способов, ориентированных на использование компьютерной графики. Суть этих способов сводится к многократному построению границ $(g_i)_{i=1}^{n_g+1}$ по одному из параметров при фиксации других.

Предложено обобщение разработанного метода на один класс непрерывно-дискретных систем.

Предложен алгоритм для вычисления на заданном интервале кратных вещественных корней $X = ((x_i, k_i))_{i=1}^{n_x}$ полинома $a(p)$, которые определяют границы областей качества.

Вещественные неотрицательные корни и их кратности $X = ((x_i, k_i))_{i=1}^{n_x}$ полинома $a(p)$ могут быть алгоритмически легко найдены с заданной точностью, например, методом половинного деления, методом хорд или другими методами, если эти корни отделены, то есть, если указано множество $D = (d_1 < d_2 < \dots < d_{n_d})$ такое, что $d_i \leq x_i < d_{i+1}$ ($i=1, \dots, n_{d-1}$). Для построения множества D не существует достаточно эффективных методов в общем случае. Применение теоремы Ролля позволяет вычислить

как сами вещественные корни полинома, так и их кратности. Разработанный алгоритм базируется на операции сравнения корней полинома $a(p)$ и его производной $a'(p)$. Т.е. по корням $(n-1)$ -й производной, лежащим на заданном интервале, вычисляются корни $(n-1-1)$ -й производной, также лежащие на заданном интервале. Искомое множество корней и их кратностей определяется после $(n-2)$ раз выполнения указанной процедуры.

Во-вторых, предложен метод параметрического исследования качества САУ в частотной области с использованием областей в пространстве параметров, для которых показатель колебательности μ не превосходит заданного значения μ_{\max} .

Показатель колебательности определяется соотношением

$$\mu = \max | \Phi(j\omega) |,$$

где $\Phi(p)$ - передаточная функция замкнутой системы.

Задача построения областей с гарантированным показателем колебательности в пространстве параметров обычно решается путем перебора значений вектора параметров и вычисления для каждого значения максимального показателя колебательности. Такое решение связано с необходимостью выбора шага изменения и пределов изменения значений параметров. Повышение точности решения задачи связано с резким ростом объема вычислений, что приводит к невозможности решения задачи в практически приемлемые сроки даже при использовании современной вычислительной техники. Кроме того, любой сколь угодно малый шаг и любые сколь угодно широкие границы изменения параметров не гарантируют получение верного решения. Предлагаемый метод не требует многократного построения частотных характеристик.

В работе рассматриваются САУ, заданные структурной схемой вида:

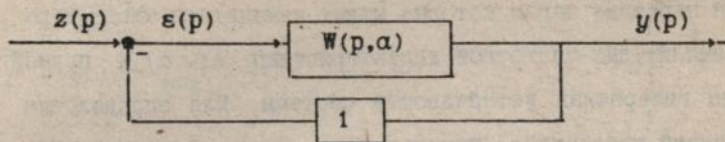


Рис. 1.

где $W(p, \alpha)$ - передаточная функция прямой цепи САУ.

Передаточная функция замкнутой САУ $\Phi(p, \alpha)$ линейно зависит от одного варьируемого параметра α и имеет вид

$$\Phi(p, \alpha) = \frac{\alpha_1(p) + \alpha \alpha_2(p)}{b_1(p) + \alpha b_2(p)},$$

где $\alpha_1(p), \alpha_2(p), b_1(p), b_2(p)$ - полиномы с вещественными коэффициентами.

В работе предложено решение задачи построения интервалов $\left\{ (\alpha_{\min j}; \alpha_{\max j}) \right\}_{j=1}^{n_\alpha}$ изменения параметра α , на каждом из которых $\alpha \in (\alpha_{\min j}; \alpha_{\max j})$ показатель колебательности μ не превосходит значения μ_{\max} . Предлагаемое решение основано на построении и решении системы алгебраических уравнений и не требует перебора значений параметра α .

Рассматривается множество значений $\alpha \in R$. Производится разбиение множества R на множества интервалов $R_1 = \left\{ (\alpha_i, \alpha_{i+1}) \right\}_{i=1}^r$, на каждом из которых амплитудно-частотная характеристика $A(\omega, \alpha) = |\Phi(j\omega, \alpha)|$ пересекает прямую $\mu = \mu_{\max}$ одно и то же число раз $k_i (i=1, \dots, r)$ при удовлетворении условия устойчивости системы. Тогда значения α , принадлежащие подмножеству $R_* = \bigcup \left\{ R_i \mid k_i = 0 \right\}$, и только они, являются искомыми. То есть, для любых $\alpha \in R_*$ и только для них показатель колебательности не превосходит заданного значения μ_{\max} .

Значения $\alpha_i(\omega)$ ($i=1, \dots, r$) определяются как граничные точки, при переходе через которые может измениться число пересечений амплитудно-частотной характеристики $A(\omega, \alpha)$ и прямой $\mu = \mu_{\max}$ на интервалах устойчивости системы. Для определения этих значений предложено использовать множество частот Ω_1 , соответствующих изменению числа пересечений амплитудно-частотной характеристики $A(\omega, \alpha)$ и прямой $\mu = \mu_{\max}$ и Ω_2 , соответствующих нарушению условия устойчивости. Частоты $\omega \in \Omega_1$ соответствуют касанию $A(\omega, \alpha)$ и прямой μ_{\max} (рис.2). Частоты $\omega \in \Omega_2$ - точкам разрыва $A(\omega, \alpha)$ (рис.3).

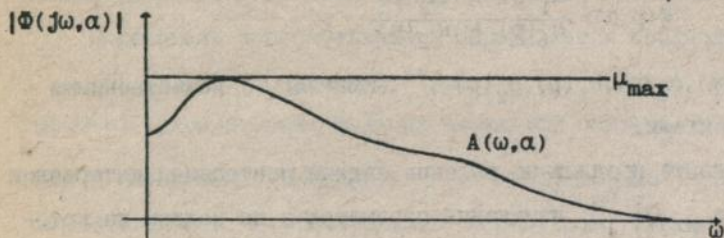


Рис.2.

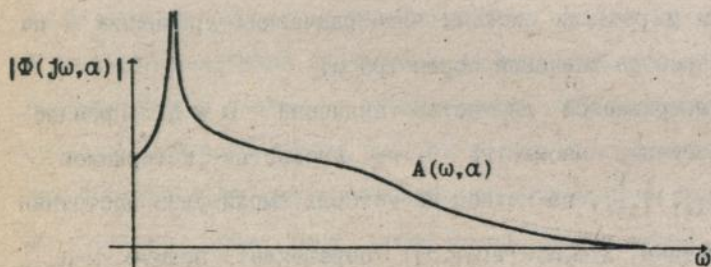


Рис.3.

В первом случае значения $\alpha_i(\omega)$ ($i=1, \dots, r$), $\omega \in \Omega_1$ определяются как решения системы уравнений

$$\begin{cases} \frac{dA(\omega, \alpha)}{d\omega} = 0; \\ A(\omega, \alpha) = \mu_{\max}. \end{cases} \quad (4)$$

Во втором случае значения $\alpha_1(\omega)$ ($i=1, \dots, r$), $\omega \in \Omega_2$ определяются как решения уравнения

$$A(\omega, \alpha) = \infty. \quad (5)$$

Для решения задачи частотную передаточную функцию представим в виде

$$\Phi(j\omega, \alpha) = \frac{[a_{11}(\omega) + \alpha a_{21}(\omega)] + j[a_{12}(\omega) + \alpha a_{22}(\omega)]}{[b_{11}(\omega) + \alpha b_{21}(\omega)] + j[b_{12}(\omega) + \alpha b_{22}(\omega)]}, \quad (6)$$

где $a_{11} = \operatorname{Re} a_1(j\omega)$; $a_{12} = \operatorname{Im} a_1(j\omega)$; $b_{11} = \operatorname{Re} b_1(j\omega)$; $b_{12} = \operatorname{Im} b_1(j\omega)$; $i=1, 2$.

Второе уравнение системы (4) запишем относительно параметра α

$$d_0(\omega) + \alpha d_1(\omega) + \alpha^2 d_2(\omega) = 0, \quad (7)$$

где $d_0(\omega) = \mu_{\max}^2 [b_{11}^2(\omega) + b_{12}^2(\omega)] - a_{11}^2(\omega) - a_{12}^2(\omega)$;

$$d_1(\omega) = 2[\mu_{\max}^2 (b_{11}(\omega)b_{21}(\omega) + b_{12}(\omega)b_{22}(\omega)) - a_{11}(\omega)a_{21}(\omega) - a_{12}(\omega)a_{22}(\omega)];$$

$$d_2(\omega) = \mu_{\max}^2 [b_{21}^2(\omega) + b_{22}^2(\omega)] - a_{21}^2(\omega) - a_{22}^2(\omega).$$

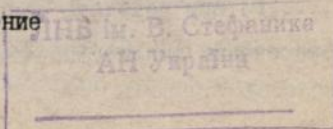
Показано, что достаточным условием выполнения первого из уравнений системы (4) является условие

$$\varphi'(\omega, \alpha)\varphi(\omega, \alpha) - \varphi(\omega, \alpha)\varphi'(\omega, \alpha) = 0, \quad (8)$$

где $\varphi(\omega, \alpha) = [a_{11}(\omega) + \alpha a_{21}(\omega)]^2 + [a_{12}(\omega) + \alpha a_{22}(\omega)]^2$;

$$\varphi(\omega, \alpha) = [b_{11}(\omega) + \alpha b_{21}(\omega)]^2 + [b_{12}(\omega) + \alpha b_{22}(\omega)]^2.$$

Условию (8) соответствует уравнение



$$\begin{aligned}
& \alpha^4 [c_1(\omega)c_4(\omega) - z_1(\omega)z_4(\omega)] + \alpha^3 [c_1(\omega)c_5(\omega) + c_2(\omega)c_4(\omega) - \\
& - z_1(\omega)z_5(\omega) - z_2(\omega)z_4(\omega)] + \alpha^2 [c_1(\omega)c_6(\omega) + c_2(\omega)c_5(\omega) + \\
& + c_4(\omega)c_3(\omega) - z_1(\omega)z_6(\omega) - z_2(\omega)z_5(\omega) - z_4(\omega)z_3(\omega)] + \quad (9) \\
& + \alpha [c_2^2(\omega)c_6(\omega) + c_5(\omega)c_3(\omega) - z_2(\omega)z_6(\omega) - z_5(\omega)z_3(\omega)] + \\
& + [c_3(\omega)c_6(\omega) + z_3(\omega)z_6(\omega)] = 0,
\end{aligned}$$

где

$$c_1(\omega) = a_{21}^2(\omega)a_{21}(\omega) + a_{22}^2(\omega)a_{22}(\omega);$$

$$c_2(\omega) = a_{11}^2(\omega)a_{21}(\omega) + a_{11}(\omega)a_{21}^2(\omega) + a_{12}^2(\omega)a_{22}(\omega) + a_{12}(\omega)a_{22}^2(\omega);$$

$$c_3(\omega) = a_{11}^2(\omega)a_{11}(\omega) + a_{12}^2(\omega)a_{12}(\omega);$$

$$c_4(\omega) = b_{21}^2(\omega) + b_{22}^2(\omega);$$

$$c_5(\omega) = 2b_{11}(\omega)b_{21}(\omega) + 2b_{12}(\omega)b_{22}(\omega);$$

$$c_6(\omega) = b_{11}^2(\omega) + b_{12}^2(\omega);$$

$$z_1(\omega) = b_{21}^2(\omega)b_{21}(\omega) + b_{22}^2(\omega)b_{22}(\omega);$$

$$z_2(\omega) = b_{11}^2(\omega)b_{21}(\omega) + b_{11}(\omega)b_{21}^2(\omega) + b_{12}^2(\omega)b_{22}(\omega) + b_{12}(\omega)b_{22}^2(\omega);$$

$$z_3(\omega) = b_{11}^2(\omega)b_{11}(\omega) + b_{12}^2(\omega)b_{12}(\omega);$$

$$z_4(\omega) = a_{21}^2(\omega) + a_{22}^2(\omega);$$

$$z_5(\omega) = 2a_{11}(\omega)a_{21}(\omega) + 2a_{12}(\omega)a_{22}(\omega);$$

$$z_6(\omega) = a_{11}^2(\omega) + a_{12}^2(\omega);$$

Таким образом, система уравнений (4) преобразована к системе уравнений (7) и (9). Выразив из уравнения (7) переменную α и подставив ее в уравнение (9), последнее приводится к алгебраическому виду. вещественные неотрицательные корни и их кратности этого уравнения определяют граничные точки $\alpha_1(\omega)$ ($i=1, \dots, r$), при переходе через которые может измениться число пересечений амплитудно-частотной характеристики $A(\omega, \alpha)$ и

прямой $\mu = \mu_{\max}$.

Множество значений $\alpha(\omega)$, $\omega \in \Omega_2$, соответствующие точкам разрыва амплитудно-частотной характеристики $A(\omega, \alpha)$, определяются как решения уравнения (5), эквивалентного системе уравнений

$$\begin{cases} b_{11}(\omega) + \alpha b_{21}(\omega) = 0; \\ b_{12}(\omega) + \alpha b_{22}(\omega) = 0. \end{cases}$$

Множество частот $\omega \in \Omega_2$ образуют вещественные неотрицательные корни уравнения

$$b_{11}(\omega)b_{22}(\omega) - b_{12}(\omega)b_{21}(\omega) = 0.$$

Для определения пересечения амплитудно-частотной характеристики $A(\omega, \alpha)$ и прямой $\mu = \mu_{\max}$ для каждого из полученных интервалов (α_1, α_{i+1}) , $i = 1, \dots, r$ следует выбрать значение α_v и решить алгебраическое уравнение $A(\omega, \alpha_v) = \mu_{\max}$. Разработанный метод значительно сокращает временные ресурсы ЭВМ и гарантирует получение верного решения. Для предложенного метода построения областей с гарантированным показателем колебательности справедливо обобщение на случаи многомерного пространства (R^2, R^3) параметров САУ.

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющие реализовать предложенные в диссертации методы в виде диалоговой САИ качества в пространстве параметров САУ.

На базе разработанной САИ выполнены исследования САУ различной степени сложности, подтверждающие эффективность разработанных методов в практике научных исследований и инженерных разработок.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе рассмотрена научно-техническая

задача разработки новых непереборных машинно-ориентированных методов параметрического исследования качества САУ. Разработка методов основана на общем подходе, заключающемся в построении и анализе множеств вещественных неотрицательных корней специальных алгебраических уравнений и систем алгебраических уравнений. Такой подход, в отличие от традиционных методов, позволил исключить необходимость решения задачи выбора шага изменения и предельных значений варьируемых параметров, которая не имеет общего удовлетворительного решения. Применение предлагаемого подхода позволяет: 1) полностью формализовать алгоритм решения задачи; 2) гарантировать результат; 3) уменьшить объем вычислений и затрат ресурсов ЭВМ; 4) повысить точность результатов при исследовании сложных моделей САУ.

В диссертационной работе получены и выносятся на защиту следующие положения и результаты, обладающие научной новизной и практической ценностью:

1. Общий подход к параметрическому исследованию на ЭВМ качества линейных САУ в комплексной и частотной областях, заключающийся в построении и анализе множеств вещественных неотрицательных решений специальным образом построенных алгебраических уравнений и систем алгебраических уравнений.
2. Машинно-ориентированные методы параметрического исследования качества линейных САУ в комплексной области, основанные на применении вещественных решений алгебраических уравнений.
 - 2.1. Построение на ЭВМ интервалов изменения параметра САУ, обеспечивающих заданное распределение корней характеристического полинома относительно многоугольной области комплексной плоскости.
 - 2.2. Построение на ЭВМ областей в пространстве параметров

САУ, обеспечивающих принадлежность нулей характеристического полинома многоугольным областям комплексной плоскости.

2.3. Обобщение разработанных методов на один класс непрерывно-дискретных систем.

3. Машинно-ориентированные методы параметрического исследования качества линейных непрерывных САУ в частотной области с использованием областей с гарантированным показателем колебательности в пространстве параметров САУ. Методы основаны на применении вещественных решений систем алгебраических уравнений.

4. Метод вычисления вещественных кратных корней полиномов на заданном интервале.

5. Алгоритмическое и программное обеспечение САИ качества в пространстве параметров САУ.

Научные результаты апробированы в практике проектирования САУ различной степени сложности. Эффективность результатов подтверждена их внедрением в проектной организации, а также в учебном процессе вуза.

Следует полагать, что подходы и методы, предложенные в диссертационной работе, могут найти применение в задачах проектирования судовых, аэронавигационных, робототехнических и других САУ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Пряшников Ф.Д., Грушун А.И., Грушун Т.А. Проблема применения репрезентативных множеств в задачах построения областей устойчивости и качества динамических систем управления // Динамические системы. - К.: Либіль, 1994. - №13- с.16-20.
2. Пряшников Ф.Д., Грушун Т.А., Грушун А.И., Поляков А.М. Машинно-ориентированный метод построения областей качества в пространстве параметров динамических объектов // Вестник

СевГУ. - Севастополь, 1995. - №1 - с.20-22.

3. Пряшников Ф.Д., Грушун Т.А. Параметрический анализ показателя колебательности линейных систем автоматического управления // Оптимизация производственных процессов. - Севастополь: Alliance Francaise, 1995. - Вып.3 - с.33-36.
4. Пряшников Ф.Д., Грушун А.И., Грушун Т.А. Применение репрезентативных множеств в задачах теории автоматического управления // Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1993. - 9с. - Деп. в ГНТБ Украины 8.07.93, N1435-Ук93.
5. Пряшников Ф.Д., Грушун А.И., Грушун Т.А. Построение областей устойчивости в пространстве параметров настройки типовых регуляторов линейных систем // Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1993. - 7с. - Деп. в ГНТБ Украины 8.07.93, N1433-Ук94.
6. Барабанов А.Т., Пряшников Ф.Д., Грушун А.И., Грушун Т.А. Анализ устойчивости и качества сложных непрерывных и непрерывно-дискретных систем автоматического управления // Тезисы I Украинской НМК "Автоматика, управление и автоматизация технологических процессов, экологического контроля и мониторинга". - Алушта, 1993. - с.74.
7. Пряшников Ф.Д., Грушун А.И., Грушун Т.А. Анализ параметрических свойств систем автоматического управления на основе исследования вещественных решений полиномиальных и трансцендентных уравнений // Тезисы I Украинской конференции по автоматическому управлению "Автоматика 94". - Киев, 1994. - с.46.

АНОТАЦІЯ

Грушун Т.О., дисертація (рукопис) "Розробка методів параметричного дослідження якості систем автоматичного управління на основі рішення алгебраїчних рівнянь" на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності

05.13.03 - Системи і процеси управління, Севастопольський державний технічний університет, м.Севастополь, 1996 рік.

Розроблені методи дозволяють будувати межі областей якості в просторі параметрів з високою вірогідністю, прийнятними витратами часу ЕОМ і підвищити точність при дослідженні складних моделей систем автоматичного управління. Методи засновані на побудові і аналізі множин дійсних рішень спеціальних алгебраїчних рівнянь. Розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення дослідження якості в просторі параметрів систем.

Ключові слова: система автоматичного управління, області якості, простір параметрів, множина, дійсні рішення, алгебраїчні рівняння.

ANNOTATION

Grushun T.A. "Elaboration of quality parametric investigation methods of automatic control systems on the basis of solving of algebraic equation" . For the candidate degree to be obtained on speciality 05.13.03-Control systems and processes, Sevastopol state technical university, Sevastopol, 1996.

Elaborative methods constructes quality regions boundaries in the parametric space with high reliability, acceptable time expenditure ECM and increase of precision with investigation of complicated models systems. Methods are based on construction and analysis real solutions sets of special algebraic equations. Algorithmic and soft ware of quality investigation in parametric space of automatic control systems.

Key words: automatic control system, quality region, parametric space, set, real roots, algebraic equations.

ГРУШИН Татьяна Александровна

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА
ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 18.01.96 г. Тираж 100 экз. Заказ № 9.

СО "ЭКОСИ-Гидрофизика". 335000 г.Севастополь, ул.Ленина, 28.

149 994

AB 34.036