

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
Севастопольский приборостроительный институт

На правах рукописи

ГРУШУН Андрей Иванович

РАЗРАБОТКА МАШИННО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА
УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА В ПРОСТРАНСТВЕ ПАРАМЕТРОВ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Специальность: 05.13.01 - Управление в технических
системах

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Севастополь, 1994

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в департаменте технической кибернетики
Севастопольского приборостроительного института.

Научные руководители: - доктор технических наук, профессор
А.Т. БАРАБАНОВ

- доктор технических наук, профессор
Ф.Д. ПРЯШНИКОВ

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор
В.А. ГАЙСКИЙ

- кандидат технических наук, доцент
А.Г. КАРЛОВ

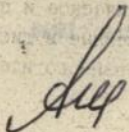
Рядущая организация - НИИ комплексной автоматизации,
г. Донецк

Защита диссертации состоится "23" июня 1994 г. в
___ часов на заседании специализированного ученого Совета Д11.03.01
в Севастопольском приборостроительном институте по адресу: 335053,
г. Севастополь, Стрелецкая балка, студгородок.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Севастопольско-
го приборостроительного института.

Автореферат разослан "21" мая 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета



А.Н. ШЕРЕШЕВСКИЙ

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЛНБ України ім. В. Стефаніка
00777499 (0)



АННОТАЦИЯ

Целью реферируемой диссертационной работы является разработка на основе общего подхода новых эффективных методов решения на ЗЕМ задач построения областей устойчивости и гарантированных запасов устойчивости в пространстве параметров систем автоматического управления (САУ). Эффективность разрабатываемых методов заключается в возможности построения областей устойчивости и качества в случаях, когда решение этих задач известными классическими и машинно-ориентированными методами приводит к большим, часто недопустимым затратам ресурсов ЗЕМ, недопустимым количественным и качественным ошибкам, требует дополнительного неформального анализа или когда методы решения практически не разработаны. Поскольку запасы устойчивости САУ связаны с прямыми показателями качества, то области гарантированных запасов устойчивости будем относить к областям качества САУ.

Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие задачи:

1. Показаны и систематизированы ограничения традиционных (классических) и машинно-ориентированных методов построения областей устойчивости и гарантированных запасов устойчивости в пространстве параметров САУ.

2. Предложен подход к исследованию на ЗЕМ устойчивости и качества в пространстве параметров САУ, основанный на анализе множеств вещественных корней полиномов, конструируемых в зависимости от специфики решаемых задач. Предложенный подход существенно расширяет возможности построения на ЗЕМ областей устойчивости и качества.

3. На основе предложенного подхода разработаны методы построения областей устойчивости и гарантированных запасов устойчивости в пространстве параметров линейных непрерывных и непрерывно-дискретных САУ. Для каждого из разработанных методов построения полиномы, вещественные корни которых определяют границы областей устойчивости и качества в пространстве параметров. Для вычисления вещественных корней полиномов предложен алгоритм, учитывающий специфику решаемых задач.

4. Разработано лингвистическое и программное обеспечения, позволяющие реализовать предложенные в диссертации методы в виде диалоговой системы автоматизированного исследования (САИ) устойчивос-

ти и качества в пространстве параметров САУ.

5. На базе разработанной САИ выполнены исследования САУ различных классов сложности, подтверждающие эффективность разработанных методов в практике научных исследований, инженерных разработок и учебного процесса вуза.

На защиту выносятся:

1. Общий подход к построению на ЭВМ областей устойчивости и качества в пространстве параметров САУ, основанный на применении множеств вещественных решений полиномиальных уравнений и систем уравнений. В дальнейшем такие множества названы R-множествами. Систематизация на основе общего подхода ограничений на применение известных методов к решению задач параметрического анализа устойчивости и качества САУ.

2. Машинно-ориентированные методы построения областей устойчивости и гарантированных классов устойчивости линейных непрерывных и непрерывно-дискретных САУ в пространстве одного и нескольких параметров, заключающиеся в определении, построении и анализе R-множеств.

3. Алгоритмы вычисления вещественных корней полиномов, учитывающий особенности его применения в задачах определения R-множеств.

4. САИ устойчивости и качества в пространстве параметров САУ на ЭВМ.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Современные САУ представляют собой сложные динамические системы, обеспечивающие высокую точность и качество процессов управления. Для получения требуемых динамических характеристик САУ проектировщику приходится находить компромиссные решения, так как требования к точности и прямым показателям качества могут вступать в сильные противоречия. Необходимость разрешения этих противоречий определяет актуальность разработки эффективных методов параметрического анализа и синтеза САУ. Основой таких методов является использование при проектировании областей со значениями параметров, соответствующих различным скалярным показателям устойчивости и качества. Исследования этих областей позволяет определять всю совокупность параметров, соответствующих требуемым динамическим свойствам. При этом решение может осуществляться путем построения различных областей в пространстве параметров САУ, пере-

сечение которых дает область, удовлетворяющую многим критериям (критерию устойчивости, гарантированных запасов устойчивости, колебательности, степени устойчивости и др.). Построение таких областей - сложная задача, которая решается в общем случае методами перебора, то есть путем приближенной замены континуального множества значений параметров конечным и перебора элементов этого множества. Методы перебора хорошо известны инженерам и облагают большой наглядностью. Отметим, что, несмотря на многочисленные разработки таких методов (Воронов А.А., Дидук Г.А., Макфарлейн А., Сольнищев Р.И., Топчиев В.И.), они в ряде случаев имеют невысокую точность, ориентированы на исследование упрощенных моделей, требуют большого объема вычислений и затрат ресурсов ЭВМ, дополнительного неформального анализа. Также для этих методов возникает задача выбора шага изменения и предельных значений частоты и перебираемых параметров, не являющаяся общим удовлетворительным решением. Высокие требования к эффективности процессов управления приводят к необходимости усложнения динамических моделей и устройств управления. Поэтому при решении задач построения областей устойчивости и качества в пространстве параметров САУ реализация на ЭВМ указанных переборных методов малоэффективна. Следовательно, актуальной является разработка общих непереборных машинно-ориентированных методов исследования устойчивости и качества в пространстве параметров САУ, свободных от вышеперечисленных недостатков или значительно их уменьшающих. Направление решения поставленных задач связано с проблематикой знакоопределенности вещественных рациональных функций (Булачков Б.В., Мееров М.В., Шильяк Д.Д.). Разработанные в рамках этой проблематики подходы и методы решения задач анализа частотных неравенств распространены на решение задач построения областей устойчивости и качества в пространстве параметров САУ.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. При решении поставленных задач использовать методы теории автоматического управления, теории функций комплексной переменной, линейной алгебры, теории множеств, вычислительной математики.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. В диссертации разработан общий подход решения задач параметрического исследования устойчивости и качества САУ на ЭВМ, заключающийся в определении и анализе множеств вещественных решений специальных полиномиальных уравнений и систем полиномиальных уравнений, конструируемых в соответствии с содержанием задачи. R-множества состоят из значений параметров САУ, полностью опреде-

лящих решение задач устойчивости и качества, свободное от недостатков традиционного подхода. На этапе теоретического определения R -множеств некоторые их элементы могут быть определены на основе известных теоретических результатов. Для задач построения областей гарантированных запасов устойчивости в пространстве параметров САУ теоретическое определение элементов R -множеств получено впервые. Этап построения и анализа элементов R -множеств связан с необходимостью разработки специальных вычислительных процедур. Для решения задач параметрического исследования устойчивости и запасов устойчивости САУ, возникающих на этом этапе, в диссертации разработаны специальные аналитические преобразования.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. 1. Разработаны методы и вычислительные алгоритмы, позволяющие повысить эффективность параметрического анализа и синтеза на ЭЕМ широкого класса сложных САУ. 2. На основе методов, предложенных в диссертации, разработано математическое, лингвистическое программное обеспечение САИ устойчивости и качества САУ.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ. Результаты исследований нашли применение в практике проектирования САУ в СКБ "Прибой"; в разработке программных систем параметрического анализа САУ по госбюджетной теме "Гранит" № гос. регистрации 0193У007446; в цикле лабораторных работ и курсовом проектировании по курсам "Теория автоматического управления", "Проектирование автоматических и телемеханических систем", "Автоматизация проектирования систем управления" и "Теория цифровых систем автоматического управления" (департамент технической кибернетики Севастопольского приборостроительного института).

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); студенческой научно-технической конференции "Теоретическая и прикладная информатика" (Донецк, 1993); научных семинарах департамента технической кибернетики Севастопольского приборостроительного института.

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ. Кроме того, содержание работы отражено в 2 отчетах по НИР, выполненных департаментом по госбюджетной теме.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертационная работа содержит введение, четыре раздела, заключение, список использованной ли-

температуры из 93 наименований, приложение. Основная часть работы изложена на 95 страницах машинописного текста и содержит 26 рисунков.

Во введении сформулированы научная проблема, цель работы, объект и основные задачи исследования, защищаемые научные положения, краткое содержание разделов диссертации, другие обязательные сведения.

В разделе 1 проведен анализ современных методов исследования на ЭВМ устойчивости и качества в пространстве параметров САУ, на базе которого систематизированы ограничения и недостатки этих методов. На основе теоретико-множественного подхода осуществлена постановка задачи исследования устойчивости и качества в пространстве параметров линейных САУ. Дано определение R -множества и предложен общий подход к исследованию на ЭВМ устойчивости и качества в пространстве параметров САУ. Суть всех методов сводится к анализу частотных неравенств для рациональных функций, построенных специальным образом для каждого из методов. В свою очередь исследование частотных неравенств проводится на основе анализа вещественных и отрицательных корней специальным образом построенных полиномов. Рассмотрены общие методы отделения вещественных корней полиномов и развит метод вычисления вещественных корней и их кратностей, наиболее приемлемый для решения рассматриваемых задач.

В разделе 2 на основе общего подхода к применению R -множеств разработаны методы построения областей устойчивости линейных непрерывных САУ по параметрам, линейно входящим в характеристический полином. Предложено обобщение этих методов на один класс непрерывно-дискретных САУ.

В разделе 3 предложены методы построения областей гарантированных запасов устойчивости по амплитуде и фазе в пространстве параметров линейных САУ, не требующие построения годографов Найквиста и функций слежения вдоль границ указанных областей, и основанные на общем подходе, заключающемся в построении специальных систем полиномиальных уравнений, вещественные решения которых полностью определяют решение задачи. Предложено обобщение этих методов на один класс непрерывно-дискретных САУ.

В разделе 4 предлагаются решения задач, обеспечивающих разработку эффективной САПР САУ, математическое обеспечение которой основано на методах, предложенных в разделах 1...3, а также рассматривается применение разработанной САПР САУ для анализа устойчивости

и качества линейризованного электропривода промышленного робота РТМ-25.

В заключении сформулированы результаты диссертационной работы, выносимые на защиту.

В приложении представлены акты о внедрении результатов диссертации, приведены характеристики основных подсистем разработанной САПР САУ, а также распечатки результатов решения практических задач, на которые есть ссылки в осязном тексте диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе проведен анализ существующих методов параметрического анализа на ЭВМ устойчивости и запасов устойчивости САУ. Показаны ограничения на решение задачи построения областей устойчивости на ЭВМ с помощью известных методов: проверной устойчивости в узлах некоторой сетки; выходом на границу устойчивости и следением вдоль нее; методом классического Д-разбиения; использованием интервальных полиномов и интервальных матриц; методом робастного Д-разбиения. Показано, что первые три метода в большинстве случаев требуют больших затрат времени ЭВМ, сталкиваются с проблемой выбора шага изменения и предельных значений частоты и перебираемых параметров и не являются достаточно надежными. Последние два метода представляют собой новые перспективные направления, ориентированные на линейные непрерывные САУ и не доведены в настоящее время до широких инженерных приложений. Рассмотрено, что задача построения областей гарантированных запасов устойчивости САУ в настоящее время решается графо-аналитическими методами и только для простых систем. Методы построения таких областей на ЭВМ практически не разработаны.

Поставлена задача разработки новых методов построения областей устойчивости и запасов устойчивости, свободных от недостатков известных методов. Решение этой задачи предложено осуществлять на основе общего подхода, основанного на построении и анализе R-множеств. Предложена методика исследования на ЭВМ устойчивости и количества в пространстве параметров САУ.

На основе применения R-множества решены следующие задачи.

Во-первых, предложен непереборный метод построения областей устойчивости характеристического полинома САУ, линейно зависящего от параметра a :

$$q(p) = a(p) + ab(p)$$

Решение задачи предложено осуществлять на основе применения \mathcal{R} -множеств для определения границ $G=(g_t)_{t=1}^{n_g+1}$ параметра α таких, что во всех точках каждого интервала $\alpha=(g_t, g_{t+1})$ характеристический полином удовлетворяет или не удовлетворяет условию устойчивости.

Элементы \mathcal{R} множества определяются уравнение:

$$\operatorname{Im} \{-a(j\omega)/b(j\omega)\}=0 \quad (1)$$

Для применения общего подхода к определению элементов \mathcal{R} -множества уравнение (1) сведено к полиномиальным уравнениям в вещественной области:

$$c_v(\omega)=\omega^{m_v} \sum_{t=0}^{n_v} c_{vt} \omega^t = 0, \quad (2)$$

$$z(\omega)=\omega^{m_z} \sum_{t=0}^{n_z} z_t \omega^t = 0, \quad (3)$$

где $\alpha(j\omega)=-a(j\omega)/b(j\omega)$ представлено в виде $\alpha(j\omega)=u(\omega)+jv(\omega)$,

$u(\omega)=c_u(\omega)/z(\omega)$, $v(\omega)=c_v(\omega)/z(\omega)$, $c_u(\omega)=\omega^{m_u} \sum_{t=0}^{n_u} c_{ut} \omega^t$, ω^2 .

Вещественные неотрицательные корни и их кратности уравнений (2) $\hat{\Omega}_0 = ((\omega_{0t}, k_{0t}))_{t=1}^{r_0}$ и (3) $\hat{\Omega}_z = ((\omega_{zt}, k_{zt}))_{t=1}^{r_z}$ определяют \mathcal{R} -множество. Искомые границы интервалов устойчивости определяются по элементам \mathcal{R} -множеств соотношением: $g_t = \operatorname{Re} \alpha(\omega_{0t})$.

Предложено обобщение этого метода на случай построения областей устойчивости САУ в пространстве двух и трех параметров, от которых линейно зависят коэффициенты характеристического полинома. Для построения областей устойчивости САУ в пространстве двух и трех параметров, в зависимости от особенностей решаемых задач, предлагаются несколько способов, ориентированных на использование машинной графики ЭВМ. Суть всех способов сводится к многократному построению границ $(g_t)_{t=1}^{n_g+1}$ по одному из параметров при фиксированных других.

Во-вторых, предложены методы построения областей гарантированных запасов устойчивости по фазе и амплитуде в пространстве параметра, от которого линейно зависят коэффициенты полиномов числителя и знаменателя ПФ-или прямой цепи САУ. Единственным известным средством решения этой задачи на ЭВМ является перебор значений параметра, а также построение и анализ для каждого такого значения годографа Найквиста. Предлагаемые методы не требуют построения годографов Найквиста.

Задача решается для САУ со структурной схемой вида:

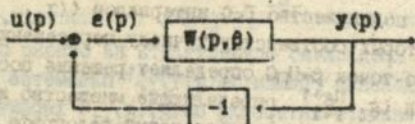


Рис. 1.

где

$$W(p, \beta) = \frac{\beta b_1(p + b_2(p))}{\beta a_1(p) + a_2(p)} \quad (4)$$

В (4) β - варьируемый параметр.

Решение задачи построения областей гарантированных запасов устойчивости по фазе заключается в том, чтобы указать интервалы $(\beta_{\min, t}; \beta_{\max, t})_{t=1}^{n\beta}$ изменения параметра β такие, что для любого $\beta \in (\beta_{\min, t}; \beta_{\max, t})$ САУ с передаточной функцией прямой цепи (4) была устойчивой и обладала запасом устойчивости по фазе не меньшим чем φ_s . По критерию Найквиста, для системы устойчивой в разомкнутом состоянии это означает, что частотный годограф $W(j\omega, \beta)$, $\beta \in (\beta_{\min, t}; \beta_{\max, t})$ не должен охватывать точку $(-1; j0)$ и пересекать дугу γ окружности единичного радиуса, соответствующую центральному углу $(\Pi - \varphi_s; \Pi + \varphi_s)$ (рис. 2).

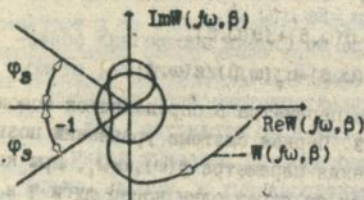


Рис. 2.

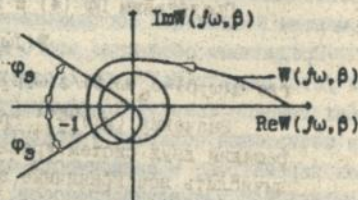


Рис. 3.

Для системы, неустойчивой в разомкнутом состоянии, для всех $\beta \in (\beta_{\min, t}; \beta_{\max, t})$ частотный годограф $W(j\omega, \beta)$ не должен пересекать дугу γ и должен охватывать точку $(-1; j0)$ соответствующее число раз (рис. 3).

Предлагается решение поставленной задачи на основе применения R-множеств осуществлять в три этапа. На первом этапе определяются интервалы устойчивости $U = ((u_{\min, t}; u_{\max, t}))_{t=1}^{n\beta}$ по параметру β . На втором этапе, на основе применения R-множеств предлагается осуществить разбиение всевозможных значений параметра $\beta = (-\infty; \infty)$ на интервалы $G = (\beta_t, \beta_{t+1})_{t=1}^{n\beta}$, на каждом из которых частотный годограф $W(j\omega, \beta)$, $\beta \in (\beta_t, \beta_{t+1})$ пересекает дугу γ n_t раз. На третьем этапе

определяется подмножество $\Gamma \subset G$ интервалов $((\gamma_{\min, t}; \gamma_{\max, t}))_{t=1}^{n_T}$, каждый из которых соответствует числу пересечений $n_t = 0$. Очевидно, что множество точек $\beta \in \Gamma$ определяет решение поставленной задачи.

Значения $(g_t)_{t=1}^{n_T+1}$, определяющие множество интервалов G , соответствуют изменению числа пересечений годографа $W(j\omega, \beta)$ с дугой γ . Для определения этих значений предлагается не строить многократно частотный годограф, а использовать R -множество частот Ω , соответствующих изменению числа пересечений годографа $W(j\omega, \beta)$ с дугой γ . Элементы множества Ω можно разбить на два подмножества $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2$. Частоты $\omega \in \Omega_1$ соответствуют прохождению годографа хотя бы через один конец дуги γ . Частоты $\omega \in \Omega_2$ соответствуют касанию годографа дуги γ (рис. 4).

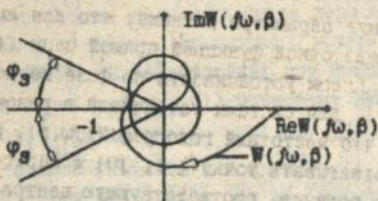


Рис. 4.

Представим ПФ (4) в виде

$$W(j\omega, \beta) = u(\omega, \beta) + jv(\omega, \beta), \quad (5)$$

где $u(\omega, \beta) = c_u(\omega, \beta) / z(\omega, \beta)$, $v(\omega, \beta) = c_v(\omega, \beta) / z(\omega, \beta)$.

Значения $(g_t)_{t=1}^{n_T+1}$ границ параметра β определяются совокупностью решений двух систем уравнений. Первая система уравнений позволяет вычислить все граничные значения параметра $\beta(\omega)$, $\omega \in \Omega_1$, при которых годограф $W(j\omega, \beta)$ проходит хотя бы через один конец дуги γ и имеет вид

$$\begin{cases} \operatorname{Re} W(j\omega, \beta) = \varphi; \\ |W(j\omega, \beta)|^2 = 1; \end{cases} \quad (6)$$

где $\varphi = \cos(\Pi + \varphi_2)$.

Вторая система уравнений вычисляет все значения параметра $\beta(\omega)$, при которых годограф $W(j\omega, \beta)$ имеет точки касания как с дугой γ на частотах $\omega \in \Omega_2$, так и с остальной частью окружности единичного радиуса. Иными словами, эта система определяет все значения параметра β , при которых годограф $W(j\omega, \beta)$ имеет точки касания, но не пересе-

чения с окружностью единичного радиуса. Тогда при изменении полученных β на $\beta=0$ годограф $W(j\omega, \beta)$ может или не пересекать или пересекать окружность единичного радиуса, то есть попадать в запретный сектор, задаваемый дугой γ . Точки касания могут быть заданы следующим условием: производная окружности единичного радиуса равна производной годографа $W(j\omega, \beta)$. Аналитическую запись последнего выражения можно получить, применяя теорему о дифференцировании неявных функций и функции, заданных параметрически. С учетом этого, вторая система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} \frac{u(\omega, \beta)}{v(\omega, \beta)} = \frac{du(\omega, \beta)}{dv(\omega, \beta)}; \\ |W(j\omega, \beta)|^2 = 1 \end{cases} \quad (7)$$

Решение задачи построения областей устойчивости САУ по амплитуде заключается в том, чтобы указать интервалы $(\beta_{\min, t}; \beta_{\max, t})$ изменения параметра β такие, что для любого $\beta \in (\beta_{\min, t}; \beta_{\max, t})$ САУ с ПФ прямой цепи (4) была устойчивой и обладала запасом устойчивости по амплитуде не меньшими чем Az_1 и Az_2 , где Az_1 - заданный запас устойчивости по амплитуде справа от точки $(-1; j0)$, Az_2 - заданный запас устойчивости по амплитуде слева от точки $(-1; j0)$, $1 < Az_2 < \infty$ (рис. 5). По критерию Найквиста, для системы устойчивой в разомкнутом состоянии это означает, что частотный годограф $W(j\omega, \beta)$, $\beta \in (\beta_{\min, t}; \beta_{\max, t})$ не должен охватывать точку $(-1; j0)$ и пересекать отрезок $y, y = [-1 - Az_2; -1 + Az_1]$ действительной отрицательной полуоси комплексной плоскости (рис. 5). Для системы, неустойчивой в разомкнутом состоянии, для всех $\beta \in (\beta_{\min, t}; \beta_{\max, t})$ частотный годограф $W(j\omega, \beta)$, также не должен пересекать отрезок y и должен охватывать точку $(-1; j0)$ соответствующее число раз (рис. 6).

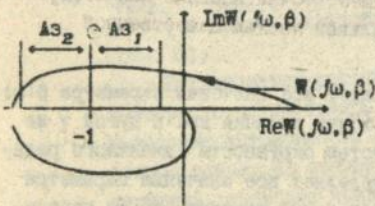


Рис. 6.

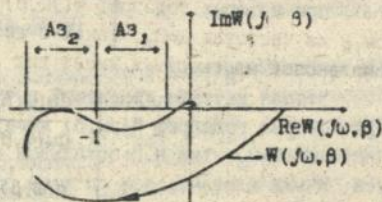


Рис. 7.

Поставленная задача на основе применения R-множеств решается также в три этапа. На первом этапе определяются интервалы ус-

то известны $U = (u_{\min, t}; u_{\max, t})_{t=1}^{n_1}$ по параметру β . На втором этапе на основе применения R-множеств предлагается осуществить разделение всех возможных значений параметра $\beta = (-\infty; \infty)$ на интервалы $G = (g_t, g_{t+1})_{t=1}^{n_2}$, на каждом из которых частотный годограф $W(j\omega, \beta)$, $\beta \in (g_t, g_{t+1})$ пересекает отрезок y n_t раз. На третьем этапе определяется подмножество $\Gamma \subset G$ интервалов $(\gamma_{\min, t}; \gamma_{\max, t})_{t=1}^{n_3}$, каждый из которых соответствует числу пересечений $n_t = 0$. Очевидно, что множество точек $\beta \in \Gamma$ определяет решения поставленной задачи.

Значения $(g_t)_{t=1}^{n_2+1}$, определяющие множество интервалов G , соответствуют изменению числа пересечений годографа $W(j\omega, \beta)$ с отрезком y . Для определения этих значений предлагается не строить многократно частотный годограф, а использовать R-множество частот Ω , соответствующих изменению числа пересечений годографа $W(j\omega, \beta)$ с отрезком y . Элементы множества Ω можно разбить на три подмножества $\Omega = \Omega_1 \cup \Omega_2 \cup \Omega_3$. Частоты $\omega \in \Omega_1, \Omega_2$ соответствуют прохождению годографа хотя бы через один конец отрезка y . Частоты $\omega \in \Omega_3$ соответствуют касанию годографа действительной оси комплексной плоскости (рис. 7).

Значения $(g_t)_{t=1}^{n_2+1}$ границ параметра β определяются совокупностью решений трех систем уравнений. Первая система уравнений позволяет вычислить все граничные значения параметра $\beta(\omega), \omega \in \Omega_1$, при которых годограф $W(j\omega, \beta)$ проходит через правый конец отрезка y и имеет вид (8), где $A_1 = -1 + A_{\beta 1}$.

$$\begin{cases} \operatorname{Re} W(j\omega, \beta) = A_1; \\ \operatorname{Im} W(j\omega, \beta) = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \operatorname{Re} W(j\omega, \beta) = A_2; \\ \operatorname{Im} W(j\omega, \beta) = 0; \end{cases} \quad (9)$$

Вторая система уравнений определяет все граничные значения параметра $\beta(\omega), \omega \in \Omega_2$, при которых годограф $W(j\omega, \beta)$ проходит через левый конец отрезка y и имеет вид (9), где $A_2 = -1 - A_{\beta 2}$.

Третья система уравнений вычисляет все значения параметра $\beta(\omega)$, при которых годограф $W(j\omega, \beta)$ имеет точки касания как с отрезком y на частотах $\omega \in \Omega_2$, так и с остальной частью вещественной оси комплексной плоскости и имеет вид

$$\begin{cases} \frac{dv(\omega, \beta)}{d\omega} = 0; \\ \frac{du(\omega, \beta)}{d\omega} = 0; \\ v(\omega, \beta) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Вещественные решения систем полиномиальных уравнений (6), (7), (8), (9) и (10) полностью определяют решение задачи построения областей гарантированных запасов устойчивости. Рассмотренные методы обобщаются на случай построения областей гарантированных запасов устойчивости САУ в пространстве двух и трех параметров.

Предложено обобщение методов построения областей устойчивости и гарантированных запасов устойчивости на класс непрерывно-дискретных САУ. Рассматриваются САУ, заданные структурными схемами:

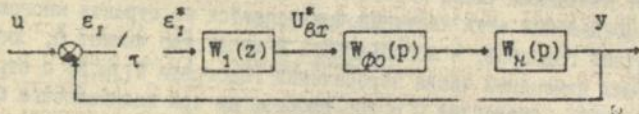


Рис. 8.

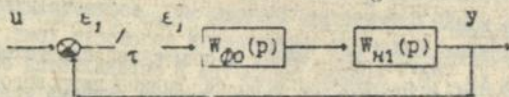


Рис. 9.

Где $W_1(z) = \frac{\beta b_1(z) + a b_2(z) + b_3(z)}{\beta a_1(z) + a a_2(z) + a_3(z)}$ - импульсная ПФ регулятора;

$W_{\phi}(p) = \frac{1 - e^{-Tp}}{p}$ - ПФ фиксатора нулевого порядка;

T - такт дискретности;

$W_N(p)$ - ПФ непрерывной части САУ без варьируемых параметров;

β, a - варьируемые параметры;

$W_{N1}(p) = \frac{\beta b_1(p) + a b_2(p) + b_3(p)}{\beta a_1(p) + a a_2(p)}$ - ПФ непрерывной части САУ с варьируемыми параметрами β, a .

Вычисляется z-преобразование ПФ непрерывной части САУ, в результате чего получаем $W_N(z)$ или $W_{N1}(z)$ и $W_{\phi}(z)$. Определяется импульсная ПФ прямой цепи $W_{\text{пц}}(z)$, после чего к ней применяется огибающее преобразование ($z = (1+w)/(1-w)$). Так как огибающее преобразование отображает единичный круг плоскости z в левую полуплоскость w , то методы построения областей устойчивости и гарантированных запасов устойчивости непрерывных систем обобщаются на непрерывно-дискретные САУ (рис. 8, 9) на плоскостях w и $W_{\text{пц}}(w)$ (где $w = j\omega_w$, ω_w - псевдочастота).

Для численного определения элементов R-множеств предложен алгоритм вычисления положительных вещественных корней и их кратностей $X = \{(x_i, k_i)\}_{i=1}^{n_x}$ полинома $a(p)$. Проблема отделения вещественных корней полиномов посвящен ряд классических и современных работ. Разработанный в диссертации алгоритм базируется на применении последовательности $a(x), a'(x), a''(x), \dots, a^{(n)}(x)$, используемой в методах, основанных на теоремах Бидана-Бурье и Ролля. В дополнение к теореме Бидана-Бурье эта последовательность используется для выделения интервалов, содержащих не более одного вещественного корня полинома $a(x)$.

Разработана САПР САУ, математическое обеспечение которой основано на методах, предложенных в диссертации.

С помощью разработанной САПР САУ проведен анализ устойчивости и качества ле: заризованного электропривода промышленного робота РПМ-25. Для непрерывной и непрерывно-дискретной САУ электропривода робота РПМ-25 построены области устойчивости и гарантированных запасов устойчивости в пространстве двух параметров настройки типового регулятора. Среди построенных областей выделены подобласти, одновременно удовлетворяющие требованиям к запасам устойчивости по амплитуде и фазе. Проанализировано влияние цифрового управляющего устройства на устойчивость и запасы устойчивости электропривода робота РПМ-25.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе сформулирована научно-техническая задача создания новых методов анализа устойчивости и качества САУ, которые обладают следующими новыми свойствами:

- все рассмотренные методы основаны на общем подходе и являются непересорными, то есть не зависящими от шага изменения и предельных значений частоты и перебираемых параметров, которые не имеют общего удовлетворительного решения;

- все рассмотренные методы формализованы в алгоритмах;
- по сравнению с существующими, разработанные методы требуют меньшего объема вычислений и затрат ресурсов ЭЕМ, более точны;
- позволяют исследовать достаточно сложные модели САУ.

Поставленная задача решена в полном объеме, а ее научное решение является законченным, во многом оригинальным исследованием.

В результате:

1. На основе единой методики разработан общий подход к анализу на ЭВМ устойчивости и качества в пространстве параметров линейных САУ, заключающийся в определении, построении и анализе множеств, определяемых вещественными решениями специальным образом построенных полиномиальных уравнений и систем полиномиальных уравнений. Представленной методике присущи вышеуказанные свойства.

2. На основе предложенного подхода разработаны машинно-ориентированные методы построения областей устойчивости и гарантированных запасов устойчивости в пространстве параметров линейных непрерывных и непрерывно-дискретных САУ.

3. Разработан алгоритм отделения вещественных корней полиномов, основанный на применении теорем Бюдана-Бурье и Ролля и наиболее приемлемый для решения рассматриваемых задач.

4. Создана САУ устойчивости и качества в пространстве параметров САУ, ориентированная на использование возможностей ПЭВМ. Эффективность САУ и предложенных в диссертации методов подтверждена решением практических задач построения областей устойчивости и гарантированных запасов устойчивости большого числа САУ.

Научные и практические результаты достаточно широко апробированы. Они внедрены в проектной организации, а также в учебном процессе вуза.

Результаты исследований с помощью разработанной САУ устойчивости и качества в пространстве параметров САУ большого числа систем дают основание полагать, что заложенные в основу ее создания принципы и алгоритмы обеспечивают качество построения областей устойчивости и гарантированных запасов устойчивости САУ не хуже того, которое достигнуто в современных средствах подобного назначения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

2. 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". - Алупка, 1993. - с.74.

3. Барабанов А.Т., Пряшников Ф.Д., Грушун А.И. и др. Система исследования устойчивости систем автоматического управления. Отчет по теме "Гранит" № гос. регистрации 0193U007446. - Севастополь:

СИМ, .392.

3. Барабанов А.Т., Прищипков Ф.Д., Грушун А.И. и др. Система исследования устойчивости и параметрических свойств систем автоматического управления. Отчет по теме "Гранит" № гос. регистрации 0193U007446. - Севастополь: СИМ, 1993.

4. Грушун А.И. Построение областей запасов устойчивости по амплитуде в пространстве параметров настройки типовых регуляторов линейных систем / Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1993. - 17 с. - Деп. в ГНТБ Украины 25.01.94, № 186-Ук94.

5. Прищипков 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.: Л. идь (принята к печати).

6. Прищипков Ф.Д., Грушун А.И., Грушун Т.А. Применение репрезентативных множеств в задачах теории автоматического управления / Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1993. - 9 с. - Деп. в ГНТБ Украины 8.07.93, № 1435-Ук93.

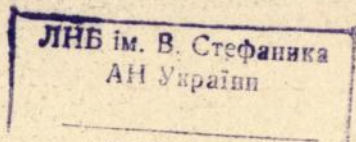
7. Прищипков Ф.Д., Грушун А.И. Построение областей запасов устойчивости по фазе в пространстве параметров настройки типовых регуляторов линейных систем / Севастоп. приборостроит. ин-т. - Севастополь, 1994. - 26 с. - Деп. в ГНТБ Украины 6.04.94, № 669-Ук94.

8. Прищипков 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. - 7 с. - Деп. в ГНТБ Украины 8.07.93, № 1433-Ук94.

Автор:

А.И. Грушун

Сдано в набор 19.05.94 г. Подписано в печать 19.05.94 г. Усл.-п.л. 1.1. Формат бумаги 60x90 1/16. Бумага тип. №2. Offsetная печать. Тираж 100. Заказ №33. ЮМУ СИМ. Севастополь, Гоголя, 14.



1. The first part of the report deals with the general situation of the country and the progress of the work done during the year. It is a summary of the work done by the various departments and is intended to give a general impression of the work done during the year.

2. The second part of the report deals with the work done by the various departments during the year. It is a summary of the work done by each department and is intended to give a general impression of the work done during the year.

3. The third part of the report deals with the work done by the various departments during the year. It is a summary of the work done by each department and is intended to give a general impression of the work done during the year.

4. The fourth part of the report deals with the work done by the various departments during the year. It is a summary of the work done by each department and is intended to give a general impression of the work done during the year.

5. The fifth part of the report deals with the work done by the various departments during the year. It is a summary of the work done by each department and is intended to give a general impression of the work done during the year.



The report is a summary of the work done by the various departments during the year. It is intended to give a general impression of the work done during the year.

THE H. B. C. OFFICE
 All Rights Reserved

Ab 30.11.0

457234

Ab 30.178
AB 30.178

УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Институт проблем механики им. А.А. Бугаева

На правах рукописи

Иванов Александр Иванович

РАЗРАБОТКА НАВИГО-ОРИЕНТИРОВАНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА
УГЛОВЫХ МОМЕНТОВ И КАЧЕСТВА В ПРОЦЕДУРАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО
ОЦЕНКИ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО ВЫРАЖЕНИЯ

Специальность: 08.13.01 – Управление в технических
системах

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 1994