

На правах рукописи

КОТОВ Денис Георгиевич



**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУР И МЕТОДОВ СИНТЕЗА
ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иваново 2004

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (ИГЭУ).

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор Тарарькин Сергей Вячеславович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Староверов Борис Александрович,
кандидат технических наук, доцент Лебедев Сергей Константинович

Ведущая организация: Научно-производственное объединение «Системотехника» г. Иваново

Защита диссертации состоится «28» декабря 2004 года в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.064.02 при ИГЭУ по адресу: г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, ауд. Б-237.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГЭУ.

Автореферат разослан «27» ноября 2004 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.В. ТЮТИКОВ

2006-4
3697

2129594

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

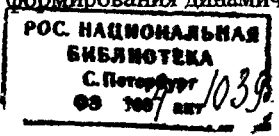
Актуальность. Возрастание требований к качеству управления технологическим оборудованием затрудняет применение широко распространенных на практике классических систем одноконтурного управления на базе типовых П, ПИ и ПИД регуляторов пониженного порядка и систем подчиненного регулирования координат. Подобные системы управления могут использоваться лишь при невысоком порядке математической модели объекта управления (ОУ) и при отсутствии взаимного влияния его координат. Стремление повысить качество управления объектом ведет к необходимости более детальной проработки его математической модели, что не просто увеличивает ее размерность, но приводит и к появлению дополнительных факторов сложности – наличию слабодемпфированных мод (резонансов) в зоне существенных частот систем автоматического управления (САУ), появлению перекрестных связей координат ОУ, проявлению влияния внешних и параметрических возмущений, нелинейных факторов. Характерным примером являются электромеханические системы (ЭМС) с упругими элементами 1-го и 2-го рода, широко применяемые в большинстве технологических агрегатов и играющие важную роль в работе современного оборудования.

В связи с этим целесообразным становится использование принципа управления по состоянию, основанного на применении регуляторов повышенного порядка и способного значительно расширить возможности проектируемых динамических систем.

Наиболее эффективным методом синтеза систем автоматического управления, реализующим этот принцип, является модальное управление, ориентированное на прямые показатели качества, являющееся более простым в вычислительном отношении и позволяющее строить систему в разнообразных структурных вариантах.

Но, несмотря на значительные преимущества метода модального управления по сравнению с другими детерминированными методами синтеза САУ технологических объектов, которые во многих случаях могут рассматриваться как линейные или линеаризованные относительно точки заданного режима работы, его расширенное практическое применение сдерживается вследствие недостаточной проработки ряда существенных вопросов. К ним относятся: обеспечение низкой чувствительности САУ к вариациям параметров объекта управления и независимое формирование статических и динамических показателей качества работы системы, исключаяющим необходимость перевыполнения требований технического задания, и, как следствие, завышения массогабаритных и стоимостных показателей.

Целью работы является совершенствование структур и методов синтеза линейных регуляторов для управления состоянием технологических объектов в направлениях снижения чувствительности САУ к параметрическим возмущениям и обеспечения независимого формирования динамических и стати-



ческих показателей качества ее работы, а также разработка инструментальных средств для автоматизированного проектирования модальных регуляторов (МР).

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

1) определение комплекса требований, предъявляемых к САУ типовыми технологическими объектами и оценка возможностей их выполнения существующими методами синтеза;

2) выявление факторов, оказывающих влияние на робастные свойства систем модального управления (СМУ), разработка критериев и показателей для оценки степени этого влияния, а также методов их расчета;

3) разработка методов и рекомендаций по снижению параметрической чувствительности САУ;

4) разработка принципов построения САУ на базе безынерционных регуляторов состояния (РС), вводимых по координатам ОУ или асимптотического наблюдателя состояния (НС), позволяющих обеспечить независимое формирование статических и динамических показателей качества ее работы;

5) разработка математических основ синтеза регуляторов при новых структурных решениях;

6) разработка и программная реализация алгоритмов для автоматизированного синтеза как непрерывных, так и дискретных СМУ.

Связь с целевыми программами. Работа выполнялась в соответствии:

– с тематическим планом фундаментальных исследований Министерства образования РФ, регистрационный номер НИР 1.3.96 «Микропроцессорное управление многосвязными электромеханическими системами промышленных агрегатов» (1996 – 1999 г.г.);

– с тематическим планом фундаментальных исследований Министерства образования РФ, регистрационный номер НИР 1.1.00 «Принципы синхронизирующего управления многокомпонентными электрическими системами с различным характером взаимных связей» (2000 – 2004 г.г.);

– с научно-технической программой «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники», подпрограмма «Производственные технологии», раздел научно-технической подпрограммы «Высокие технологии межотраслевого применения», регистрационный номер НИР 11.01.050 «Разработка модульного микроконтроллера для многоканальных электромеханических систем» (2002 г.).

Методы исследований. При решении поставленных задач в работе использованы методы теории пространства состояний и модального управления, операционное исчисление, аппарат передаточных функций и структурных схем, элементы теории чувствительности, метод объектно-ориентированного проектирования программных средств. Проведение иссле-

дований систем управления динамическими процессами выполнялось методом имитационного моделирования.

Научная новизна работы определяется разработкой и реализацией новых подходов к решению проблемы обеспечения параметрической грубости СМУ, а также независимого обеспечения статических и динамических показателей их работы:

1) установлены зависимости размеров области достижения робастных свойств линейных САУ с РС от структуры и порядка управляемого объекта, от взаимного расположения нулей и полюсов его передаточной функции (ПФ), а также полюсов желаемого характеристического полинома (ХП);

2) предложен метод количественной оценки степени управляемости объекта по чувствительности матрицы управляемости его модели, определяемой величиной относительного изменения определителя этой матрицы, к вариации параметра ОУ, влияющего на взаимное расположение нуля и полюса (нулей и полюсов) его ПФ;

3) разработаны методы структурно-параметрической оптимизации СМУ с целью снижения ее параметрической чувствительности;

4) предложены способы независимого формирования статических и динамических показателей работы САУ путем изменения структуры МР;

5) для каждого из предложенных способов разработана методика расчета параметров РС при различных вариантах построения САУ (как с асимптотическим наблюдателем, так и без него).

Практическая ценность работы.

1. Разработанные в диссертации положения позволяют повысить эффективность проектируемых САУ технологическими объектами.

2. Установленные закономерности во влиянии структурно-параметрических особенностей математической модели ОУ на робастные свойства САУ, построенной на принципах модального управления, а также способы обеспечения заданных статических и динамических показателей ее работы составляют методологическую основу для автоматизированного проектирования линейных регуляторов состояния различных технологических объектов.

3. Разработанное прикладное программное обеспечение позволяет оперативно проводить анализ и синтез СМУ технологическими объектами.

Реализация результатов работы. Разработанный программный комплекс для синтеза МР непрерывных и дискретных систем внедрен:

– на кафедре «Микропроцессорные системы» Таганрогского государственного радиотехнического университета;

– на кафедре «Электроника и микропроцессорные системы» Ивановского государственного энергетического университета.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на Международных научно-технических конференциях «Состояние и перспективы

развития электротехнологий» (IX – XI Бенардосовские чтения, Иваново, 1999 г., 2001 г., 2003 г.); Четвертом научно-практическом семинаре «Новые информационные технологии» (Москва, 2001 г.); Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Современные наукоемкие технологии в инженерной и управленческой деятельности» («Комтех – 2001») (Таганрог, 2001 г.); Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении» («Комтех – 2004») (Таганрог, 2004 г.); Третьей Международной конференции по автоматизированному электроприводу (Н. Новгород, 2001 г.); Международной конференции по электротехнике, электромеханике и электротехнологии «МКЭЭ – 2003» (Крым, Алушта, 2003 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 5 статей в журналах, входящих в перечень периодических научных изданий, рекомендуемых ВАК Минобразования России; получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ и решение по заявке «Способ управления динамическими объектами по заданным показателям качества» № 2003113297/09 от 05.05.2004.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 112 наименований, и трех приложений. Работа изложена на 201 листе машинописного текста, содержит 58 рисунков и 4 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертации, показаны ее научная новизна и практическая ценность, сформулированы цель и задачи работы.

В первой главе дан анализ типовых технологических объектов и их систем автоматизации, определены направления исследований.

Показано, что развитие технологического машиностроения на современном этапе, прежде всего, связано с совершенствованием таких объектов автоматизации как непрерывные технологические линии по производству и обработке длинномерных материалов текстильной, химической, бумагоделательной, полиграфической и металлургической промышленности, а также оборудование общепромышленного назначения – станки и робототехнические комплексы.

Показатели работы оборудования, а, следовательно, и качество выпускаемой продукции во многом зависят от качественных показателей работы ЭМС, приводящих в движение механизмы промышленных установок. Выявлены общие требования, предъявляемые к ЭМС, дана их характеристика как объектов управления.

Установлено, что сложность построения САУ такими объектами заключается в необходимости обеспечения достаточно высокой точности и бы-

стродействия локальных электроприводов, а также точной координации их движений в условиях влияния упругих звеньев 1-го и 2-го рода, действия внешних возмущений и изменения в существенных пределах параметров ОУ. Кроме того, к дополнительным факторам сложности можно отнести неблагоприятное сочетание собственных движений (мод) ОУ, проявляющееся в наличии очень «быстрых» и очень «медленных» полюсов, наличие слабодемпфированных мод в зоне существенных частот САУ, неблагоприятное распределение нулей и полюсов ПФ управляемого объекта, ограничивающее возможности его управления, и трудности непосредственного измерения отдельных координат состояния.

Сравнительный анализ современных методов синтеза регуляторов показал, что метод модального управления является наиболее перспективным при создании САУ не только линейными технологическими объектами высокого порядка, но и систем с нелинейностями, оказывающими существенное, но не определяющее влияние на их динамические процессы. Для последних процедура синтеза управляющего устройства в рамках линейной теории может быть дополнена последующей параметрической оптимизацией на уточненных нелинейных моделях.

На основе анализа недостатков, присущих методу модального управления вследствие недостаточной проработки ряда принципиальных вопросов, определены задачи и направления исследований.

Вторая глава посвящена вопросам обеспечения робастных свойств СМУ.

Наименее изученным из факторов, оказывающих значительное влияние на чувствительность СМУ к вариации параметров, является наличие нулей в ПФ модели объекта от входа к управляемой координате. Негативное влияние нулей проявляется в том, что при их наличии в результате синтеза в статическом РС могут присутствовать положительные обратные связи (ПОС), что существенно снижает робастные свойства САУ.

Проведенные исследования позволили выявить следующие основные факторы, определяющие размеры областей параметрической грубости САУ, характе-



Рис.1

ризуемых диапазоном значений среднегеометрического корня Ω , при которых синтезируемый регулятор не формирует ПОС ни по одной из координат объекта (рис. 1):

1. Структура ОУ. От этого фактора в значительной степени зависит вид области отсутствия ПОС. Она может быть сплошной или сегментированной. Кроме того, при определенных условиях указанной области может и не быть. Из проведенных исследований следует, что особенно сильно влияние нулей проявляется при наличии в объекте параллельных структур (рис. 2, а), а также безынерционных связей «вперед» (рис. 2, б, в). Приняты следующие обозначения: s – комплексная переменная Лапласа; $x_i(s)$, $y_3(s)$, $y(s)$ – изображения координат состояния ОУ, входного и выходного сигналов; p_i , q_i , b_i , a_i – коэффициенты ПФ звеньев объекта.

2. Вид распределения корней полиномов ПФ модели ОУ и ХП замкнутой системы. Как показывают многочисленные эксперименты, область параметрической грубости системы будет тем шире, чем ближе характер распределения полюсов ПФ замкнутой системы и полюсов ПФ ОУ.

3. Соотношение корней полиномов ПФ ОУ. Чем дальше друг от друга расположены области нулей и полюсов ПФ объекта, тем шире будет зона робастности.

4. Степени ХП и полинома воздействия ПФ ОУ, а также их соотношение. Так, количество неравенств в системах, определяющих условия отсутствия ПОС, а также порядки этих неравенств напрямую зависят от порядка объекта, а это позволяет сделать вывод о том, что от порядка объекта зависит и максимально возможное количество сегментов области достижения робастных свойств САУ.

Нули ПФ ОУ оказывают определяющее влияние на робастные свойства и систем с асимптотическим наблюдателем. Однако, в этом случае степень влияния зависит не от структуры объекта, а от структуры наблюдающего устройства. Показано, что при наличии у ПФ ОУ нулей с позиций робастности из двух, обычно используемых на практике, форм представления наблюдателя

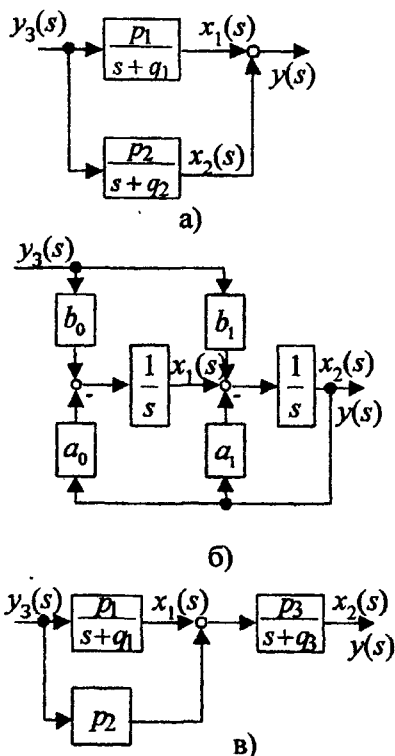


Рис. 2

лучше взять каноническую форму наблюдаемости, а не каноническую форму управляемости.

На основе анализа результатов проведенных исследований предложены пути повышения робастных свойств СМУ, объекты которых имеют нули в ПФ:

- структурно-параметрическая оптимизация системы, направленная на исключение нулей из математической модели ОУ или смещение их в область меньшего влияния на робастность САУ;
- настройка системы на быстродействие, ограничиваемое областью максимальной параметрической грубости системы.

Разработана методика определения области отсутствия ПОС, позволяющая автоматизировать расчет и реализовать его на ЭВМ.

Поскольку размер области робастности САУ напрямую зависит от степени близости расположения нулей и полюсов ПФ объекта, то для оценки возможности построения работоспособной системы при заданной структурно-параметрической модели ОУ перед процедурой синтеза регулятора необходимо провести соответствующий анализ. Он может быть основан на количественной оценке степени управляемости объекта, т.к. чем дальше друг от друга располагаются корни ХП и полинома воздействия, тем лучше управляем объект, и наоборот.

Проведены исследования, позволившие определить, от чего зависит параметрическая грубость САУ при низкой степени управляемости объекта. К числу этих факторов можно отнести следующие:

1. Относительное расстояние между близко расположенными нулем и полюсом (диполем) ПФ объекта и количеством диполей.

2. Структура ОУ. Потеря свойства управляемости объекта по состоянию происходит только в тех случаях, когда звено с сокращаемым полюсом в структуре находится по направлению информационно-управляющих сигналов после звена с соответствующим нулем.

3. Порядок модели ОУ.

При одной и той же степени близости расположения нуля и полюса ПФ объекта САУ большего порядка будет проявлять большую чувствительность к вариациям своих параметров.

4. Быстродействие, на которое настраивается система. Чем оно выше по отношению к быстродействию, определяемо-

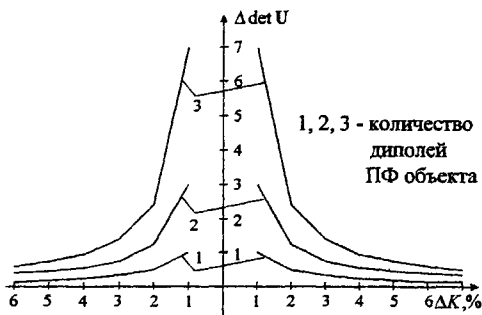


Рис. 3

му нулями ПФ объекта, тем более сильными будут ПОС, и тем более высокой будет чувствительность САУ к вариациям ее параметров.

Установлено, что ни один из существующих методов количественной оценки степени или запаса управляемости объекта не учитывает всю совокупность указанных факторов.

Разработана методика уточненной оценки запаса управляемости объекта по чувствительности матрицы управляемости его модели, определяемой величиной относительного изменения $\Delta \det U$ определителя этой матрицы, к вариации ΔK параметра объекта, пропорционально влияющего на взаимное расположение нуля и полюса (нулей и полюсов) его ПФ (рис. 3).

Приведены примеры синтеза робастных СМУ, основанные на предложенных процедурах и методах.

В третьей главе разрабатываются методы синтеза РС, позволяющие независимо формировать статические и динамические характеристики САУ.

САУ одномерным объектом порядка n с безынерционным РС в классическом исполнении, структурная схема которой приведена на рис. 4, может быть описана следующей системой уравнений:

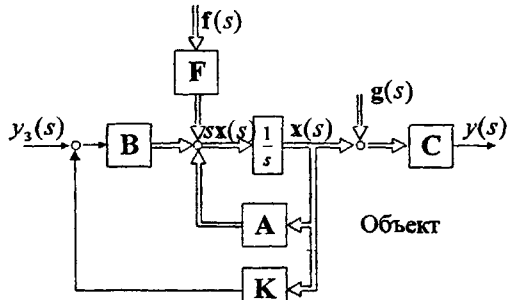


Рис. 4

$$\begin{cases} s\mathbf{x}(s) = \mathbf{A}\mathbf{x}(s) + \mathbf{B}\mathbf{K}\mathbf{x}(s) + \mathbf{F}\mathbf{f}(s) + \mathbf{B}y_3(s), \\ \mathbf{y}(s) = \mathbf{C}(\mathbf{x}(s) + \mathbf{g}(s)), \end{cases}$$

где \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} – матрицы состояния ($n \times n$), входа ($n \times 1$) и выхода ($1 \times n$), \mathbf{x} – вектор состояния, \mathbf{g} , \mathbf{f} – векторы аддитивных возмущающих воздействий, \mathbf{F} – матрица возмущений ($n \times n$), \mathbf{K} – матрица коэффициентов РС ($1 \times n$).

ПФ $H(s)$ САУ от входа $y_3(s)$ к выходу $y(s)$, а также зависимости, связывающие изменения выходного сигнала Δy_f , Δy_g с возмущающими воздействиями \mathbf{f} и \mathbf{g} для условий статики (при $s = 0$, $\mathbf{f} = \text{const}$ и $\mathbf{g} = \text{const}$), будут следующими:

$$H(s) = \frac{y(s)}{y_3(s)} = \mathbf{C}(\mathbf{I}s - \mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{K})^{-1} \mathbf{B}$$

$$\Delta y_f = \mathbf{C}(-\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{K})^{-1} \mathbf{F}\mathbf{f}, \quad \Delta y_g = \mathbf{C}\mathbf{g}$$

где \mathbf{I} – единичная матрица.

Очевидно, что изменение величины статической ошибки от влияния возмущения \mathbf{f} требует изменения динамики САУ на основе соответствующего

выбора значений элементов матрицы K , а влияние на выходную координату возмущения g изменить невозможно. В таком случае требования обеспечения динамических показателей и снижения статических ошибок могут вступить в противоречие, разрешение которого оказывается возможным только за счет перевыполнения одного из требований.

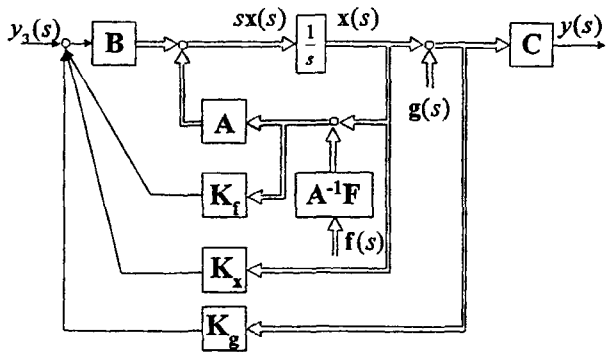


Рис. 5

Разработан способ независимого обеспечения статических и динамических показателей качества работы САУ, основанный на разделении канала K регулятора по исходным переменным состояниям, на три составляющие, одна из которых K_x содержит информацию о значениях переменных, измеренных до точки приложения аддитивных возмущающих воздействий, а оставшиеся K_f и K_g — о значениях переменных с учетом влияния возмущений f и g соответственно (рис. 5). При этом, для сохранения заданных динамических показателей САУ, должно выполняться условие:

$$K = K_x + K_f + K_g. \quad (1)$$

ПФ САУ от входа к выходу и зависимости, связывающие изменение выходного сигнала с возмущающими воздействиями, при $y_3(s) = 0$ в условиях статики с учетом (1) для модифицированной САУ имеют вид:

$$H(s) = \frac{y(s)}{y_3(s)} = C(I s - A - BK)^{-1} B,$$

$$\Delta y_f = C(-A - BK)^{-1} (BK_f A^{-1} F f + F f), \quad (2)$$

$$\Delta y_g = C(-A - BK)^{-1} BK_g g + Cg.$$

Согласно (2), введение дополнительных каналов управления K_f и K_g дает возможность влиять на величину отклонений Δy_f и Δy_g регулируемой координаты при действии возмущений f и g притом, что динамические характеристики САУ не меняются. Тем самым достигается необходимая степень свободы в задании статических и динамических показателей качества САУ.

При практической реализации управляющего устройства количество измерителей в САУ, необходимых для введения дополнительных обратных связей (ОС), предложено ограничить путем вычисления соответствующих сигналов на основе информации о соседних координатах.

В случаях, когда построение САУ вышеуказанным способом невозможно по причине трудности измерения сигналов до или после точки приложения возмущающих воздействий, для независимого формирования динамических и статических свойств САУ предложено использовать подход, основанный на введении, наряду с традиционными

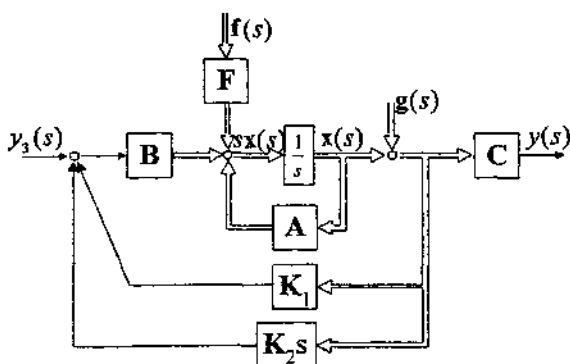


Рис. 6

при модальном управлении безынерционными связями по координатам состояния объекта, гибких ОС по тем же координатам (рис. 6).

В этом случае процедура синтеза МР будет включать следующие этапы. Поскольку величина статической ошибки при модальном управлении непосредственно связана с быстродействием, выбирается ХП САУ

$$D_1(s) = s^n + d_{(n-1)}s^{n-1} + \dots + d_{11}s + d_{01},$$

который при синтезе регулятора дает матрицу ОС K_1 , обеспечивающую необходимые статические свойства системы. При этом быстродействие САУ будет отличаться от требуемого.

Для коррекции быстродействия необходимо ввести гибкие ОС (связи дифференцирующего типа), которые не окажут влияния на статическую ошибку. Для этого выбирается ХП

$$D_2(s) = s^n + d_{(n-1)2}s^{n-1} + \dots + d_{12}s + d_{02},$$

обеспечивающий заданное быстродействие системы. Тогда быстродействие САУ с регулятором K_1 можно скорректировать, синтезировав дополнительный регулятор K_2 на основе желаемого полинома

$$D_3(s) = \frac{d_{01}}{d_{02}}s^n + \frac{d_{01}}{d_{02}}d_{(n-1)2}s^{n-1} + \dots + \frac{d_{01}}{d_{02}}d_{12}s + d_{01},$$

корни которого будут совпадать с корнями полинома $D_2(s)$, обеспечивая заданные динамические показатели САУ, а введение коэффициента d_{01}/d_{02} скорректирует ее свойства в статике.

$$K_2 = \bar{K}_2 \bar{U} U^{-1},$$

$$\bar{K}_2 = \begin{bmatrix} d_{11} - \frac{d_{01}}{d_{02}}d_{12} & d_{21} - \frac{d_{01}}{d_{02}}d_{22} & \dots & d_{(n-1)1} - \frac{d_{01}}{d_{02}}d_{(n-1)2} & 1 - \frac{d_{01}}{d_{02}} \end{bmatrix},$$

где \bar{U} и U – матрицы управляемости объекта соответственно в канонической форме управляемости и реальных координатах.

ПФ САУ с двухканальным регулятором и зависимости, связывающие изменение выходного сигнала с возмущающими воздействиями, в условиях статике при $y_3(s) = 0$ примут вид:

$$H(s) = \frac{y(s)}{y_3(s)} = C((I - BK_2)s - A - BK_1)^{-1}B.$$

$$\Delta y_r = C(-A - BK_1)^{-1}Ff, \quad \Delta y_g = C \cdot (-A - BK_1)^{-1} \cdot BK_1g + Cg.$$

Из их анализа следует, что введение второго канала ОС K_2 по производным координат состояния объекта, формирующего динамические свойства САУ, не влияет на статические показатели САУ, обеспечиваемые K_1 .

При технической реализации регулятора отдельные гибкие ОС предложено заменять набором связей по координатам состояния объекта в соответствии с уравнениями Коши, что исключает необходимость вычисления ряда производных.

Решения, найденные для систем с безынерционным РС, можно с некоторой доработкой распространить и на САУ с НС.

Информация о всех возмущениях, действующих на объект, поступает в устройство управления (НС-РС) через связи, характеризуемые матрицей L подстройки наблюдателя (рис. 7). Поэтому независимое формирование статических и динамических показателей СМУ рассматриваемого типа предложено обеспечить путем разделения канала K ОС по исходным переменным состояния НС на две составляющие, первая из которых, K_1 , содержит информацию о значениях переменных, измеренных

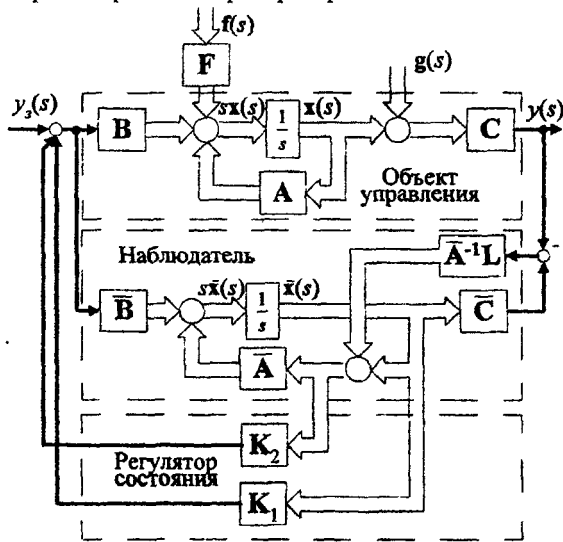


Рис. 7

до точки приложения связей подстройки, а вторая, K_2 – о значениях переменных с учетом влияния последних (рис. 7), или путем введения дополнительного канала ОС по производным координат наблюдателя (рис. 8).

Для всех вариантов построения САУ разработаны методики расчета параметров РС и НС. Проведены вычислительные эксперименты, показавшие

эффективность предложенных способов независимого формирования динамических и статических свойств систем управления ЭМС типовых технологических объектов.

Проведен сравнительный анализ методов и даны рекомендации относительно того, какой из них лучше использовать в конкретной ситуации.

В четвертой главе рассмотрены вопросы разработки инструментальных средств проектирования СМУ.

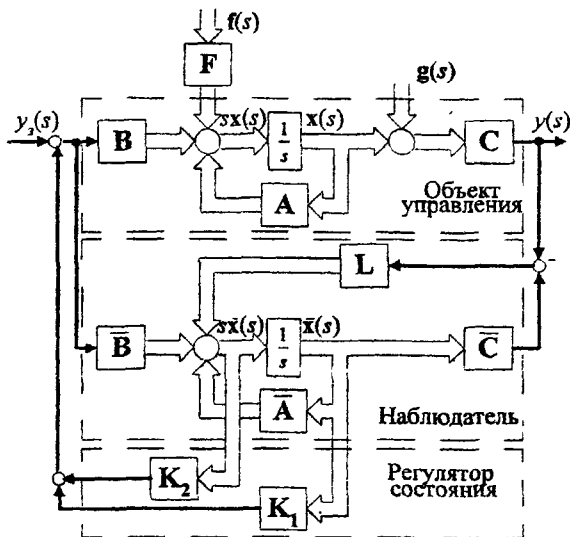


Рис. 8

Описаны основные алгоритмы и методы, используемые при синтезе МР и реализованные в разработанном программном обеспечении:

- 1) формы математического описания ОУ как в области непрерывного, так и дискретного времени;
- 2) процедуры конвертирования форм описания объекта;
- 3) алгоритм расчета области робастности САУ;
- 4) методы расчета параметров непрерывных и дискретных СМУ;
- 5) алгоритм расчета переходной характеристики, являющейся основным инструментом для оценки качества управления.

Разработан программный комплекс «Сателлит» (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2001610856), позволяющий автоматизировать процесс анализа и синтеза как непрерывных, так и дискретных систем управления на базе безынерционных МР, выполняемых в виде сумматоров сигналов ОС по координатам состояния ОУ или асимптотического наблюдателя состояния, а также динамических МР в виде полиномиальных звеньев контура регулирования выходной координаты.

Описаны возможности программного комплекса и примеры использования его средств.

В приложениях приведены свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ и акты внедрения программного комплекса.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В условиях неуклонно возрастающих технологических требований к качественным показателям современного производства традиционные САУ, строящиеся на базе типовых П, ПИ и ПИД регуляторов как в одноконтурном, так и в каскадном (с подчиненным регулированием координат) исполнениях, уже не могут рассматриваться как универсальные средства автоматизации, что делает актуальным поиск более эффективных методов и средств, реализующих принцип управления состоянием динамических объектов.

2. Наиболее эффективными методами детерминированного синтеза РС типовых технологических объектов, которые во многих случаях могут рассматриваться как линейные или линеаризованные относительно точки заданного режима работы, являются методы модального управления, ориентированные на прямые показатели качества, являющиеся простыми в вычислительном отношении и дающие проектировщику богатый выбор структурных решений для реализации законов управления.

3. Расширенное применение методов модального управления требует более глубокой проработки вопросов учета влияния нулей ПФ объекта, обеспечения условий параметрической грубости, независимого формирования статических и динамических показателей качества синтезируемых систем, а также разработки и реализации эффективных вычислительных методов и алгоритмов для автоматизации проектирования РС в различных структурных вариантах и формах исполнения.

4. Основными факторами, определяющими размеры областей сохранения параметрической грубости СМУ с РС, характеризующихся отсутствием ПОС по координатам состояния объекта или наблюдателя, являются: структура и размерность объекта управления, степень взаимного удаления созвездий его нулей и полюсов, а также степень различия видов распределения корней ПФ объекта и полюсов синтезируемой САУ.

Точные размеры этих областей для СМУ объектами второго порядка могут быть определены аналитически, а объектами более высоких порядков — путем численного решения системы алгебраических неравенств.

5. При малом запасе управляемости объекта из-за близкого взаимного расположения отдельных нулей и полюсов достаточно точный прогноз параметрической грубости синтезируемой системы может быть получен по оценкам относительных изменений детерминанта матрицы управляемости объекта, полученных при соответствующих относительных изменениях варьируемых параметров.

6. Основными путями обеспечения робастных свойств СМУ являются: выбор рациональной структуры расчетной модели объекта и формы математического представления наблюдателя состояния, а также расположение созвездия полюсов синтезируемой САУ в пределах установленных областей высокой параметрической грубости.

7. Задача независимого формирования статических и динамических показателей системы управления с МР может быть решена на основе принципа двухканальности, предполагающего разделение канала безынерционных ОС на две составляющие, одна из которых несет информацию о переменных, измеренных до точек приложения аддитивных возмущений в объекте или сигналов подстройки в асимптотическом наблюдателе, а вторая – о переменных, измеренных непосредственно за этими точками по направлению информационно-измерительных сигналов.

8. При затруднениях в использовании принципа двухканальности альтернативным решением задачи независимого формирования свойств САУ в статике и динамике является использование дополнительного канала ОС по первым производным координат состояния ОУ или НС.

При малом числе воздействующих возмущений относительно размерности объекта количество дифференцирующих связей может быть существенно сокращено за счет перераспределения коэффициентов усиления безынерционных связей основного канала РС.

9. Разработанные методики и алгоритмы, основанные на выполнении полученных математических соотношений, позволяют максимально автоматизировать и ускорить реализацию обоих принципов независимого формирования статических и динамических характеристик СМУ с различными структурами регуляторов и наблюдателей состояния.

10. Разработанный программный комплекс «Сателлит» (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2001610856), органично сочетающий традиционные методы и алгоритмы с новыми расчетными процедурами компьютерного анализа и синтеза регуляторов и наблюдателей состояния динамических объектов, является удобным и эффективным средством автоматизированного проектирования СМУ с различными структурными вариантами и формами аппаратной реализации управляющих устройств.

Основные результаты диссертации отражены в работах:

1. Котов Д.Г., Тютиков В.В., Тарарыкин С.В. Синтез регуляторов состояния для систем модального управления заданной статической точности // *Электричество*, 2004. – № 8. С. 32-43.

2. Тарарыкин С.В., Тютиков В.В., Котов Д.Г., Независимое формирование статических и динамических показателей систем модального управления // *Электричество*, 2004. – № 11. С. 56-62.

3. Тютиков В.В., Тарарыкин С.В., Котов Д.Г., Варков Е.А. Статическая точность систем модального управления // *Вестник ИГЭУ*. – Иваново, 2003. – № 1. С. 55-62.

4. Тютиков В.В., Котов Д.Г., Тарарыкин С.В. Условия параметрической грубости САУ с регуляторами состояния // *Современные наукоемкие технологии в инженерной и управленческой деятельности («КомТех-2004»)*:

Изв. ТРТУ. Материалы Всероссийской НТК с международным участием. – Таганрог, 2004. С. 50-58.

5. Тютиков В. В., Тарарыкин С. В., Котов Д. Г. Синтез динамических систем с учетом степени управляемости объекта // Современные наукоемкие технологии в инженерной и управленческой деятельности («КомТех-2000»): Изв. ТРТУ. Тематический выпуск. Материалы Всероссийской НТК с международным участием. – Таганрог, 2001. С. 129-137.

6. Котов Д.Г., Варков Е.А., Тарарыкин С.В., Тютиков В.В. Программный комплекс для автоматизированного проектирования систем модального управления («Сателлит»). Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2001610856. © М.: РОСПАТЕНТ, 2001.

7. Котов Д.Г., Тарарыкин С.В., Тютиков В.В. Определение степени управляемости динамических систем: Материалы четвертого научно-практического семинара «Новые информационные технологии». – М., 2001.

8. Тютиков В.В., Котов Д.Г., Тарарыкин С.В. Проектирование цифровых регуляторов состояния: Тезисы докладов междунар. науч. – технич. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологий IX Бенардосовские чтения». – Иваново, 1999. С. 221.

9. Тютиков В.В., Котов Д.Г., Тарарыкин С.В. Степень управляемости линейных систем: Тезисы докладов междунар. науч. – технич. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологий X Бенардосовские чтения». – Иваново, 2001. С. 134.

10. Котов Д.Г., Тютиков В.В., Тарарыкин С.В. Обеспечение статической точности САУ при трехканальном модальном управлении: Тезисы докладов междунар. науч. – технич. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологий XI Бенардосовские чтения». – Иваново, 2003. С. 5.

11. Тютиков В.В., Котов Д.Г., Тарарыкин С.В. Модальное управление динамическими системами с использованием гибких обратных связей: Тезисы докладов междунар. науч. – технич. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологий XI Бенардосовские чтения». – Иваново, 2003. С. 3.

12. Тютиков В.В., Котов Д.Г., Тарарыкин С.В. Обеспечение робастных свойств систем модального управления электроприводами. Тезисы докладов третьей Международной конференции по автоматизированному электроприводу. – Н. Новгород, 2001. С. 49.

13. Тютиков В.В., Тарарыкин С.В., Варков Е.А., Котов Д.Г. Системы модального управления заданной статической точности: Материалы междунар. конференции по электротехнике, электромеханике и электротехнологии «МКЭЭ-2003». – Крым, Алушта, 2003. С. 710-711.

14. Тарарыкин С.В., Котов Д.Г. и др. Автоматизированный синтез и микропроцессорная реализация систем управления взаимосвязанными электроприводами / ИГЭУ, Гос. рег. № 01.20.00 03702, инв. № 02.20.00 02500. – Иваново, 2000. – 159 с.

КОТОВ Денис Георгиевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРУКТУР И МЕТОДОВ СИНТЕЗА
ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Лицензия ИД № 05285 от 4.07.2001

Подписано в печать 15.11.2004 Формат 60×84 1/16.

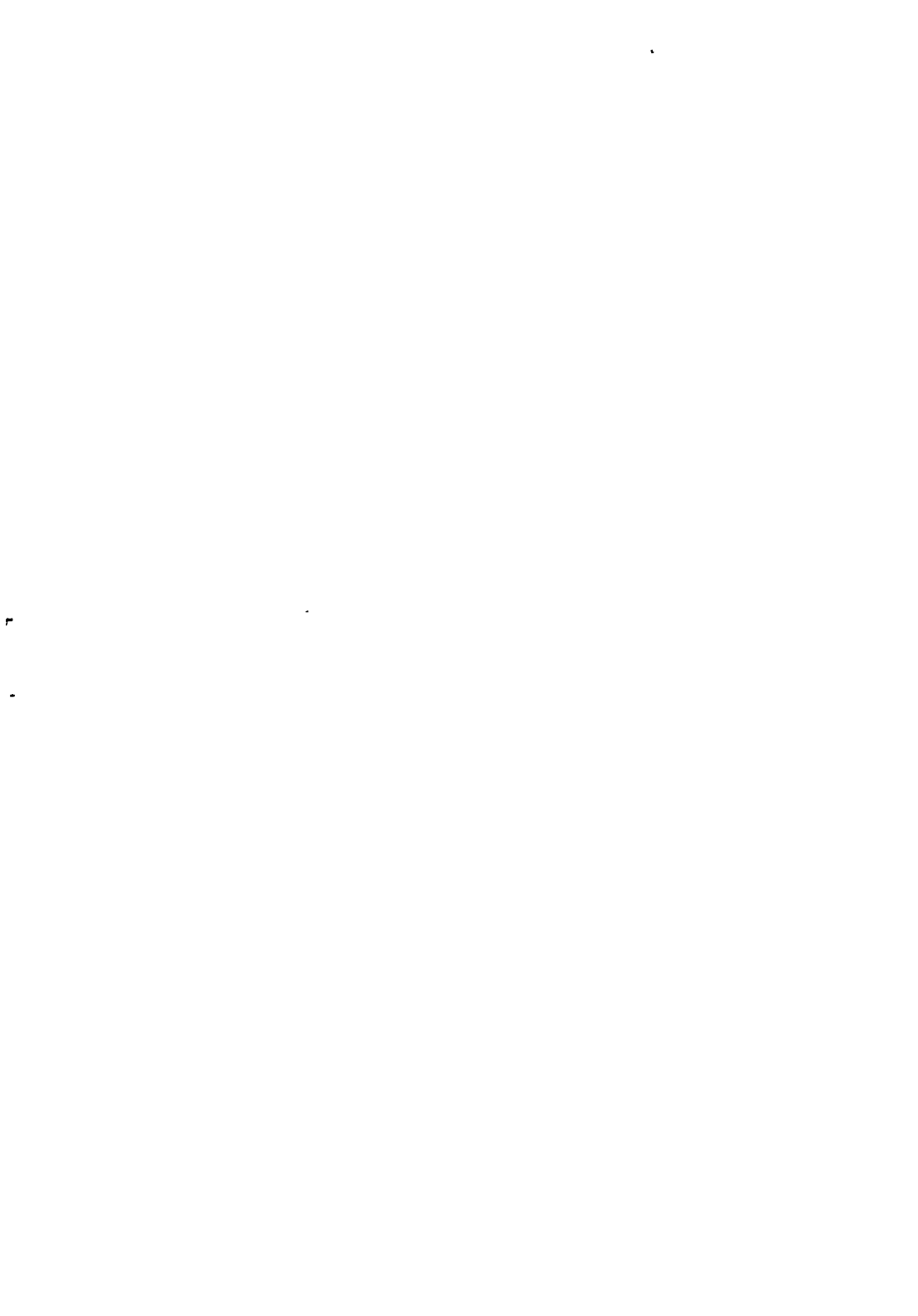
Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,93.

Тираж 100 экз. Заказ 122.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34

Отпечатано в РИО ГОУ ВПО ИГЭУ.



№ 25974

РНБ Русский фонд

2006-4

3697