УДК 681.511.2.037.26 На правах рукописи

ДАУТБАЕВА АЙГУЛЬ ОСПАНОВНА

Модели и методы анализа и синтеза наблюдателя в классе структурно-устойчивых отображений

Специальность 05.13.01- Системный анализ, управление и обработка информации

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Республика Казахстан
Астана, 2010г.

Работа выполнена в Евразийском национальном университете им. Л.Н. Гумилева

Научные руководители: доктор технических наук, профессор, Бейсенби М.А.
кандидат физико-математических наук, Турешбаев А.Т.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Абдикаликов К.А.
кандидат технических наук, доцент Шевяков В.Ю.

Ведущая организация: Казахская академия транспорта и коммуникаций им. Тынышбаева

Защита диссертации состоится « 18 » ноября 2010 г. в 16-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета ОД 14.13.03 при Казахском национальном техническом университете им. К.И.Сатпаева МОН РК по адресу: Республика Казахстан, 050013 г. Алматы, ул. Сатпаева, 22, (нефтяной корпус, 1-й этаж, конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета имени К.И.Сатпаева.

Автореферат разослан «____» ____________ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ОД 14.13.03
доктор технических наук, профессор Б.Х. Айтчанов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Актуальной является проблема построения наблюдающего устройства, обеспечивающего работоспособность при больших пределах изменения неопределенных параметров объекта управления. Такое наблюдающее устройство, реализующее оценку вектора состояния, объекта управления с неопределенными параметрами назовем робастным. Под робастностью понимают способность сохранять работоспособность системы в условиях неопределенности. В общей постановке исследование системы на робастную устойчивость состоит в указании ограничений на изменение параметров системы, при которых сохраняется устойчивость. Универсальным методом исследования устойчивости динамических систем является прямой метод А.М.Ляпунова. В связи с этим возникает необходимость в разработке моделей и методов анализа и синтеза систем с неограниченно расширяемой областью устойчивого движения при наличии внешних и внутренних возмущений. Использование новейших информационных технологий позволяет моделировать робастно устойчивые системы, проводить численные эксперименты и оценивать эффективность разработанных методов.

Целью данной диссертационной работы является разработка теоретических основ построения наблюдателя в классе структурно-устойчивых отображений.

В рамках поставленной цели решаются следующие задачи:

- исследование методов оценивания состояния объекта, управления и возмущения;
- постановка задачи оценивания состояния систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости;
- современные методы исследования робастной устойчивости;
- разработка модели и методов построения наблюдателя состояния в классе однопараметрических, двухпараметрических структурно-устойчивых отображений с одним входом и одним выходом;
- разработка модели и методов построения наблюдателя состояний в классе однопараметрических, двухпараметрических структурно-устойчивых отображений с m входом и l выходом;
- разработка методов оценивания возмущений в системах с повышенным потенциалом робастной устойчивости;
- применение наблюдающего устройства с повышенным потенциалом робастной устойчивости для некоторых актуальных задач управления техническими объектами и технологическими процессами;
- исследование с помощью численных экспериментов на наблюдающих устройствах с повышенным потенциалом робастной устойчивости.

В ходе решения поставленных задач использовался аппарат качественной теории динамических систем, теории автоматического управления, теории катастроф, теории матриц, теории дифференциальных уравнений и теории устойчивости.

Научная новизна работы

- Научная новизна предлагаемых результатов заключается в разработке моделей и методов систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости в классе двухпараметрических структурно-устойчивых отображений из теории катастроф для объектов с неопределенными параметрами и настраиваемыми параметрами регулятора, что показала ряд преимуществ по сравнению с применением однопараметрических структурно-устойчивых отображений, заключающихся в более высоких показателях качества – таких, как быстродействие, колебательность, перерегулирование.

- Научной новизной обладает исследование системы на робастную устойчивость, состоящая в указании ограничений на изменение параметров системы, при которых сохраняется устойчивость, возникает необходимость в разработке моделей и методов анализа и синтеза систем с неограниченно расширяемой областью устойчивого движения при наличии внешних и внутренних возмущений.

- Впервые выполнено исследование устойчивости стационарных состояний решением уравнений на основе идей А.М. Ляпунова в однопараметрических, двухпараметрических структурно-устойчивых отображениях.

Основные положения, выносимые на защиту.

- постановка задачи оценивания состояния систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости;
- построение наблюдателя однопараметрических структурно-устойчивых отображений для объектов с неопределенными параметрами m входом и l выходами;
- метод нахождения установившихся (стационарных) состояний систем управления с повышенным потенциалом робастной устойчивости, базирующаяся на исследовании критических точек вырожденности градиентной функции системы и теории подобия;
- разработан метод оценки робастной устойчивости наблюдающего устройства в условиях неопределенности;
- применение наблюдающего устройства с повышенным потенциалом робастной устойчивости для некоторых актуальных задач управления техническими объектами и технологическими процессами, исследование с помощью численных экспериментов на наблюдающих устройствах с повышенным потенциалом робастной устойчивости.

Практическая ценность и реализация результатов работы.
Полученные теоретические результаты диссертационной работы использованы при разработке и создании микропроцессорных систем автоматического управления технологическими процессами и позволили повысить точность управления, улучшить робастную устойчивость микропроцессорных систем автоматического управления при неконтролируемом изменении параметров технологических процессов.

Апробация работы. Результаты данной работы докладывались на
конференциях и семинарах: III международная практическая конференция молодых ученых –Тараз 2009;

Международная научная конференция «Теоритические и прикладные проблемы математики, механики и информатики» Караганда: КарГУ им. академика Е.А. Букетова, 2010;

Международная научно-практическая конференция «Математическое моделирование и информационные технологии» г. Кызылорда: КГУ имени Коркыт Ата, 2009г.

Международный симпозиум «Информационно-коммуникационные технологии в индустрии, образовании и науки» Караганда: КарГТУ, 2010г.

Международная конференция «Электроника и компьютер» IKECCO 2010г.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников из 107 наименований и приложения – документа о внедрении результатов работы. Основная часть работы изложена на страницах 123 машинописного текста.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель работы, ее научная новизна, степень достоверности результатов, изложенных в диссертации, а также отмечаются основные теоретические и практические результаты диссертационной работы.

В первом разделе диссертационной работы рассмотрено современные методы исследования робастной устойчивости и постановка задачи. Описаны понятия и определения таких терминов, как робастная устойчивость робастность по качеству систем автоматического управления. Рассмотрены основные понятия управляемости, критерии наблюдаемости, теорема дуальности. Приведены элементы теории катастроф и качественной теории динамических систем [2,12].

Во втором разделе предлагаются различные варианты метода построения наблюдателя для объектов с одним входом и одним выходом в классе однопараметрических структурно - устойчивых отображений. Построение наблюдателя однопараметрических структурно-устойчивых отображений для объектов с неопределенными параметрами m входом и l выходами, построение в области канонических переменных преобразования [3,4,5].

Рассмотрим линейную стационарную замкнутую систему управления, описывается следующим уравнением состояния с неопределенными параметрами:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) + f(t) \\ y(t) &= Cx(t) + V(t),\ x(t_0) = x_0,\ t \geq t_0 \end{aligned} \qquad (1)$$

Здесь $x(t) \in R^n$ - вектор состояния объекта, $u(t) \in R^m$, $y(t) \in R^l$ - входной и выходной векторы, A, B, C - соответственно матрицы объекта управления и наблюдения. Объект подвержен действию возмущений $f(t)$ и «шума (погрешности) измерений» $\upsilon(t)$. Считается, что при работе системы доступны измерению процессы $u(t), y(t)$, а $x(t), f(t), \upsilon(t)$- недоступны. Рассматриваем задачу получения <u>оценки состояния объекта</u> $x(t)$. Процесс $x(t)$, полученный с помощью некоторого алгоритма, должен в определенном (например, в асимптотическом) смысле приближаться к процессу $x(t)$ ($\hat{x}(t) \to x(t)$ при $t \to \infty$) независимо от исходного начального состояния объекта x_0.

Пусть матрица объекта управления A размерности $n \times n$ и матрицы b и c - соответственно управления и выхода имеют вид

$$A = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \dots & -a_1 \end{Vmatrix} \qquad b = \begin{Vmatrix} 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_n \end{Vmatrix} \qquad c = \begin{Vmatrix} c_1 & 0 & \dots & 0 \end{Vmatrix}$$

Для полностью наблюдаемого стационарного объекта при отсутствии возмущений можно получить асимптотически точную оценку состояния, с наблюдающим устройством в форме однопараметрических структурно-устойчивых отображений.

Наблюдатель состояния можем представить в виде модели объекта управления, на вход которой поступает то же управляющее воздействие, что и на объект управления и, кроме того, дополнительный сигнал коррекции (обратной связи). Этот сигнал получается из невязки между выходами объекта и модели.

Влияние сигнала невязки придает поведению модели качественно новые свойства (отличные от свойств объекта). Собственные движения модели и объекта оказываются различными, но переменные состояния модели служат оценками состояния объекта. Для стационарных систем наблюдатель описывается уравнением

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)),$$
$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t),\ \hat{x}(t_0) = \hat{x}_0,\ t \ge t_0 \qquad (2)$$

Здесь $\hat{x}(t) \in R^n$ – вектор состояния наблюдателя, служащий оценкой состояния объекта; $\hat{y}(t) \in R^l$ – вектор выхода; L – оператор обратной связи по невязке между выходами объекта и наблюдателя.

Синтез наблюдателя заключается в выборе оператора L. Мы будем рассматривать наблюдатель, у которого размерность вектора состояния такая же, как и у объекта (так называемый наблюдатель полного порядка, или наблюдатель Калмана).

Для построения наблюдателя рассмотрим ошибки оценивания $\varepsilon(t) = (x(t) - \hat{x}(t))$. Вычитая из (1) уравнение (2), получаем уравнение для ошибки

$$\dot{\varepsilon}(t) = A\varepsilon(t) - LC\varepsilon(t) + f(t) - LV(t), \qquad (3)$$
$$\varepsilon(t_0) = \varepsilon_0 = x_0 - \hat{x}_0,\ t \ge t_0$$

Как видно из этого уравнения, источниками ошибки $\varepsilon(t)$ является начальное рассогласование $\varepsilon_0 = x_0 - \hat{x}_0$, возмущение и помеха измерений $\upsilon(t)$. Динамика переходного процесса ошибки $\varepsilon(t)$ определяется оператором $G(t) = A - L(t)C$.

Необходимо исследовать поведение процесса $\varepsilon(t)$. Динамика переходного процесса в таких системах определяется оператором $G(t) = A - L(t)C$. Если возмущения $f(t)$ и шумы $\vartheta(t)$ отсутствуют, то процесс оценивания должен быть асимптотически устойчив и $\varepsilon(t) \to 0$ при $t \to \infty$ для любых начальных значений x_0 и $\hat{x}_0$. Оператор $G(t)$ зависит от параметров объекта управления (матриц A и C) и оператора $L(t)$ определяется проектировщиком. Для полностью наблюдаемого объекта, выбором оператора $L(t)$ можно обеспечить устойчивость и требуемое быстродействие процесса оценивания. При отсутствии сигнала коррекции $(L = 0)$ динамика процесса оценивания, полностью определяется динамикой объекта. В частности для неустойчивых и нейтрально-устойчивых объектов асимптотическое оценивание было бы неосуществимо. Оператор $G(t)$, а следовательно и $L(t)$, влияет также на точность процесса оценивания при внешних воздействиях. Это влияние оказывается разным по отношению к возмущениям $f(t)$, с одной стороны, и помехам измерений $\upsilon(t)$- с другой. Поэтому при определении $L(t)$ следует учитывать характеристики внешних воздействий и обеспечивать компромисс между требованиями быстродействия и точности системы.

В третьем разделе разрабатываются методы линейной стационарной системы наблюдателя в классе двухпараметрических структурно-устойчивых отображений для объектов с одним входом и одним выходом, построение наблюдателя для объектов с m входом и l выходом в классе двухпараметрических структурно-устойчивых отображений, методы построения наблюдателя для канонических объектов в классе двухпараметрических структурно- устойчивых отображений.

Рассмотрим задачу построения наблюдателя для объектов с m входом и l выходами в классе двухпараметрических структурно-устойчивых отображений.

Пусть система управления задается в следующем виде

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t),\ x(t_0) = x_0 \qquad (4)$$
$$y(t) = Cx(t)$$

Здесь $x(t) \in R^n$- вектор состояния объекта управления, $u(t) \in R^n, y(t) \in R^l$, -ответственно входной и выходной векторы. A, B, C-соответственно матрицы объекта, с неопределенными параметрами, управления и наблюдения вида:

$$A = \begin{Vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{Vmatrix} \qquad B = \begin{Vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ b_{31} & b_{32} & \dots & b_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{Vmatrix}$$

Матрица C имеет диагональную форму

$$C = \begin{Vmatrix} c_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & c_n \end{Vmatrix}$$

Считается, что при работе системы измерению доступны процессы $u(t), y(t)$, а $x(t)$ – недоступен.

Наблюдающее устройство описывается уравнением:

$$\begin{aligned} &\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)), \\ &\hat{y}(t) = C\hat{x}(t), \hat{x}(t_0) = \hat{x}_0, t \geq t_{0.} \end{aligned} \qquad (5)$$

Здесь $\hat{x}(t) \in R^n$ - вектор состояния наблюдателя служащий оценкой состояния объекта уравнения; $\hat{y}(t) \in R^l$–вектор выхода; L- оператор обратной связи по невязки между выходами объекта и наблюдателя. Построение наблюдателя заключается в выборе оператора L. Для исследования работы наблюдателя рассмотрим ошибку оценивания $\varepsilon(t) = x(t) - \hat{x}(t)$. Вычитая из (4) уравнение (5) получаем уравнение для ошибки

$$\begin{aligned} &\dot{\varepsilon}(t) = A\varepsilon(t) - LC\varepsilon(t) \\ &\varepsilon(t_0) = \varepsilon_0 x_0 - \hat{x}_0, t > t_0 \end{aligned} \qquad (6)$$

Если система (6) асимптотически устойчива, а возмущения и шумы отсутствуют, то процесс оценивания асимптотически устойчив и $\varepsilon(t) \to 0$ $при\, t \to \infty$ $(т.е. \lim \varepsilon(t) = 0)$ для любых начальных значений $x_0, \hat{x}_0$.

Синтез наблюдателя заключается в выборе оператора L. Выберем оператора L в форме при умножении на $\varepsilon(t)$ приводящим к двухпараметрическим структурно-устойчивым отображениям:

$$L(t) = (x(t) - \hat{x}(t))^3 - k_1(x(t) - \hat{x}(t)) - k_2 = \varepsilon^3(t) - k_1\varepsilon(t) - k_2$$

где матрица $k_1, k_2\, и\; \varepsilon(t)$ соответственно имеют вид:

$$K_1 = \begin{Vmatrix} k_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k_{12} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & k_{1n} \end{Vmatrix} \qquad K_2 = \begin{Vmatrix} k_{21} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & k_{2n} \end{Vmatrix}$$

$$\varepsilon(t) = x(t) - \hat{x}(t) = \begin{Vmatrix} x_1(t) - \hat{x}_1(t) \\ x_2(t) - \hat{x}_2(t) \\ \dots \\ x_n(t) - \hat{x}_n(t) \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} \varepsilon_1(t) \\ \varepsilon_2(t) \\ \dots \\ \varepsilon_n(t) \end{Vmatrix},$$

тогда $y(t)$ будет вектор функций вида

$$y(t) = C\varepsilon(t) = \begin{Vmatrix} C_1\varepsilon_1(t) \\ C_2\varepsilon_2(t) \\ \dots \\ C_n\varepsilon_n(t) \end{Vmatrix},$$

а величина $L(t), C\varepsilon(t)$ будет равна

$$L(t)C\varepsilon(t) = \begin{Vmatrix} c_1\varepsilon_1^4(t) - c_1k_{11}\varepsilon_1^2(t) - c_1k_{21}\varepsilon_1(t) \\ c_2\varepsilon_1^4(t) - c_2k_{12}\varepsilon_1^2(t) - c_2k_{22}\varepsilon_2(t) \\ \dots \qquad \dots \qquad \dots \\ c_n\varepsilon_n^4(t) - c_nk_{1n}\varepsilon_n^2(t) - c_nk_{2n}\varepsilon_n(t) \end{Vmatrix}$$

Система (6) в развернутой форме записывается в виде:

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_1(t) = -C_1\varepsilon_1^4(t) + C_1k_{11}\varepsilon_1^2(t) + (a_{11} + C_1k_{21})\varepsilon_1(t) + a_{12}\varepsilon_2(t) + a_{13}\varepsilon_3(t) + \ldots + a_{1n}\varepsilon_n(t) \\ \dot{\varepsilon}_2(t) = -C_2\varepsilon_1^4(t) + C_2k_{12}\varepsilon_2^2(t) + (a_{22} + C_2k_{22})\varepsilon_2(t) + a_{21}\varepsilon_1(t) + a_{23}\varepsilon_3(t) + \ldots + a_{2n}\varepsilon_n(t) \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \dot{\varepsilon}_n(t) = -C_n\varepsilon_n^4(t) + C_nk_{1n}\varepsilon_n^2(t) + (a_{nn} + C_nk_{2n})\varepsilon_n(t) + \ldots + a_{n1}\varepsilon_1(t) + a_{n2}\varepsilon_2(t) + a_{n3}\varepsilon_3(t) \end{cases} \qquad (7)$$

Стационарное состояние системы (7) определяется решением уравнения

$$\begin{cases} -C_1\varepsilon_{1s}^4 + C_1k_{11}\varepsilon_{1s}^2 + (a_{11} + C_1k_{21})\varepsilon_{1s} + a_{12}\varepsilon_{2s} + a_{13}\varepsilon_{3s} + \ldots + a_{1n}\varepsilon_{ns} = 0 \\ a_{21}\varepsilon_{1s} - C_2\varepsilon_{2s}^4 + C_2k_{12}\varepsilon_{2s}^2 + (a_{22} + C_2k_{22})\varepsilon_{2s} + a_{23}\varepsilon_{3s} + \ldots + a_{2n}\varepsilon_{ns} = 0 \\ \dots \qquad \dots \qquad \dots \\ a_{n1}\varepsilon_{1s} + a_{n2}\varepsilon_{2s} + a_{n3}\varepsilon_{3s} + \ldots - C_n\varepsilon_{ns}^4 + C_nk_{1n}\varepsilon_{ns}^2 + (a_{nn} + C_nk_{2n})\varepsilon_{ns} = 0 \end{cases} \qquad (8)$$

Из (8) получим стационарное состояние

$$\varepsilon_{1s}^1 = 0, \quad \varepsilon_{2s}^1 = 0, \ \varepsilon_{3s}^1 = 0, \ \ldots, \ \varepsilon_{ns}^1 = 0, \qquad (9)$$

Другие стационарные состояния определятся решением уравнения:

$$-C_i\varepsilon_{is}^3 + C_ik_{1i}\varepsilon_{is} + a_{ii} + C_ik_{2i} = 0, \quad \varepsilon_{js} = 0, i \neq j, i = 1,2,\ldots,n, \quad j = 1,2,\ldots,n \qquad (10)$$

Для нахождения решений уравнения (10) можем воспользоваться принципом лома. Как известно из теории катастроф, решение уравнения (10) соответствует критическим точкам катастрофы сборки, заданные формулой

$$f(\varepsilon_{is}, C_i, k_{1i}, a_{ii}, k_{2i}) = -C_i\varepsilon_{is}^4 + C_ik_{1i}\varepsilon_{is}^2 + (a_{ii} + C_ik_{2i})\varepsilon_{is} = 0 \qquad i = 1,2,\ldots,n \qquad (11)$$

Критические, дважды вырожденные и трижды вырожденные критические точки катастрофы сборки (11) определятся приравниванием соответственно первой, второй и третьей производных (11) к нулю. Условие (11) выполняется в критических точках

$$-4C_i\varepsilon_{is}^3 + 2C_ik_{1i}\varepsilon_{1s} + a_{ii} + C_ik_{2i} = 0, \qquad i = 1,2,\ldots,n \qquad (12)$$

и

$$-12C_i\varepsilon_{is}^2 + 2C_ik_{1i} = 0, \qquad i = 1,2,\ldots,n \qquad (13)$$

в дважды вырожденных критических точках, условия (12), (13) и

$$12C_i\varepsilon_{is} = 0, \qquad i = 1,2,\dots,n \tag{14}$$

В трижды вырожденных критических точках. Положение в пространстве параметров $\left(k_{1i}, \dfrac{a_{ii}}{c_i} + k_{2i}\right)$ точки, которая описывает функцию с трижды вырожденной практической точкой, определяется как

$$(11) \Rightarrow \varepsilon_{is} = 0 \overset{(12)}{\Rightarrow} k_{1i} = 0 \overset{(13)}{\Rightarrow} \frac{a_{ii}}{c_i} + k_{2i} = 0, \qquad i = 1,2,\dots,n \tag{15}$$

Соответствующая функция $f\ (\varepsilon_{is},0,0) = \varepsilon_{is}^4$ имеет трижды вырожденную точку в начале координат.

Точки пространства управляющих параметров, которые параметризируют функции с дважды вырожденными критическими точками, определяются из уравнений (13), (12)

$$(13) \Rightarrow k_{1i} = 6\varepsilon_{is}^2 \Rightarrow \frac{a_{ii}}{c_i} + k_{2i} = -8\varepsilon_{is}^3, \qquad i = 1,2,\dots,n \tag{16}$$

Если положение дважды вырожденной критической точки обозначить через ε_{is}, то формула (16) дает значения управляющих параметров k_{1i} и $\dfrac{a_{ii}}{c_i} + k_{2i}$, которые описывают функцию с дважды вырожденной критической точкой ε_{is} .

Уравнение (16) определяет параметрическое представление связи между k_{1i} и $\dfrac{a_{ii}}{c_i} + k_{2i}$. Более прямое выражение для связи между k_{1i} и $\dfrac{a_{ii}}{c_i} + k_{2i}$ может быть получено, если исключить ε_{is} из (16):

$$\left(\frac{k_{1i}}{6}\right)^{\frac{1}{2}} = \varepsilon_{is} = \left(-\frac{a_{ii} + c_i k_{2i}}{8c_i}\right)^{\frac{1}{3}}, i = 1,2,...,n$$

или

$$\left(\frac{k_{1i}}{3}\right)^{\frac{1}{2}} = \varepsilon_{is} = \left(-\frac{a_{ii} + c_{ii} k_{2i}}{2c_i}\right)^{\frac{1}{3}}, i = 1,2,...,n$$

$$\left(\frac{k_{1i}}{3}\right)^3 = -\left(\frac{a_{ii} + c_i k_{2i}}{2c_i}\right)^2, \qquad i = 1,2,...,n$$

$$\left(\frac{k_{1i}}{3}\right)^3 + \left(\frac{a_{ii} + c_i k_{2i}}{2c_i}\right)^2 = 0, \qquad i = 1,2,...,n \tag{17}$$

Как известно из элементарной алгебры, уравнение (10) может иметь до трех реальных решений вида:

$$\varepsilon_{is}^2 = A_i + B_i, \quad \varepsilon_{is}^{3,4} = \frac{A_i + B_i}{2} \pm j\frac{A_i - B_i}{2}\sqrt{3},$$

где

$$A_i = \sqrt[3]{a_{ii} + \frac{c_i k_{2i}}{2c_i} + Q_i}, \ B_i = \sqrt[3]{a_{ii} + \frac{c_i k_{2i}}{2c_i} - Q_i},$$

$$Q_i = \left(\frac{k_{1i}}{3}\right)^3 + \left(\frac{a_{ii} + C_i k_{2i}}{2C_i}\right)^2$$

Отсюда с учетом (9) уравнение (6) имеет решение:

$$\varepsilon_{is}^2 = 2\sqrt[3]{a_{ii} + \frac{c_i k_{2i}}{2c_i}}, \varepsilon_{js} = 0, \quad i \neq j, \quad j = 1,2,\dots,n, \quad i = 1,2,\dots,n \tag{18}$$

$$\varepsilon_{is}^{3,4} = -\sqrt[3]{a_{ii} + \frac{c_i k_{2i}}{2c_i}}, \ \varepsilon_{ij} = 0, \quad i \neq j, \quad j = 1,2,\dots,n, \quad i = 1,2,\dots,n \tag{19}$$

Разработаем метод исследования устойчивости стационарных состояний (9), (18) и (19) на основе идей второго метода А.М Ляпунова. В качестве инструмента исследования, в котором используются специальные функции, называемые функциями Ляпунова и основываются на двух теоремах А.М Ляпунова.

Теоремы Ляпунова имеют следующие геометрические истолкования. Допустим, что существует положительно определенная функция $V(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$ для которой $\left(\frac{dV}{dt} < 0\right)$ полная производная по времени меньше нуля. Рассмотрим какую-нибудь интегральную кривую уравнений состояний (7), выходящую в начальный момент времени из любой точки окрестности стационарного состояния.

Если $\frac{dV}{dt}$ есть функция отрицательно – определенная $\left(\frac{dV}{dt} < 0\right)$, то каждая интегральная кривая, выходящая из достаточно малой окрестности стационарного состояния, будет непрерывно пересекать каждую из поверхностей $V(\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t), \dots, \varepsilon_n(t)) = C, \quad C = const$ снаружи вовнутрь, так как функция $V(\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t), \dots, \varepsilon_n(t)) = C,$ должна непрерывно убывать. Но в таком случае интегральные кривые должны неограниченно приближаться к стационарным состояниям, т.е. невозмущенное движение асимптотически устойчиво.

В четвертом разделе рассматривается практическое построение наблюдателей для параметрических систем в классе однопараметрических, двухпараметрических структурно устойчивых отображений. Предложен подход к построению наблюдателя для искусственного спутника Земли (ИЗС) в классе однопараметрического и двухпараметрического структурно-устойчивого отображения, разработан метод и рассмотрен пример построения наблюдателя движения летательного аппарата (ЛА) в классе однопараметрического и двухпараметрического структурно-устойчивого отображения [6,7,9].

Рассмотрим упрощенную модель углового движения искусственного спутника Земли (ИЗС) относительно продольной оси [57,63,87,14], рисунок 1

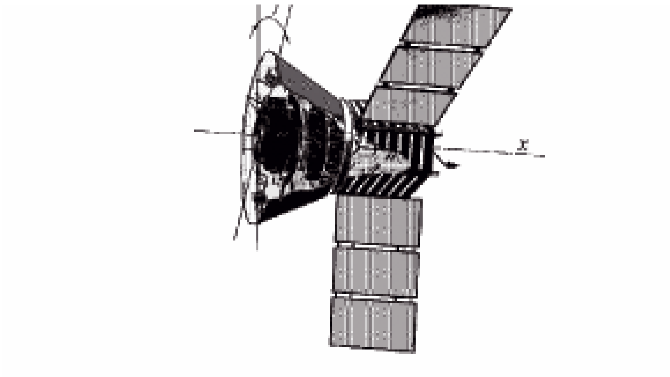

Рисунок 1

Обозначим через $\gamma(t), \omega_x(t)$ - угол и угловую скорость крена ИЗС; J_x - момент инерции ИЗС относительно продольной оси x; $M_x(t)$ - управляющий момент относительно этой оси, развиваемый, например, реактивными двигателями. Уравнение динамики вращательного движения и кинематическое соотношение, связывающее угол и угловую скорость будет иметь вид:

$$\begin{cases} \dfrac{d\gamma(t)}{dt} = \omega_x(t), \\ \dfrac{d\omega_x(t)}{dt} = \dfrac{M_x(t)}{J_x} \end{cases} \qquad (20)$$

Для данной системы $n = 2, m = 1$. Вектор состояния определяется сопоставлением компонентов значений угла и угловой скорости: $x(t) = \begin{pmatrix} \gamma(t) \\ \omega_x(t) \end{pmatrix}$. А матрицы векторов состояния и управления будут иметь следующий вид соответственно: $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 \\ \dfrac{1}{J_x} \end{pmatrix}$.

Вид матрицы C определяется тем, какие переменные измеряются или относительно каких из них формулируется цель управления. Если измеряется только угол крена, то $l = 1$ *и* $C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix}$. Если измеряются обе переменные, то

$l = 2, C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$.

Рассмотрим случай, когда $l = 1$. Введя переменные $x_1 = \gamma(t), x_2 = \omega_x(t)$, уравнение (20) можно записать в виде:

$$\begin{cases} \dfrac{dx_1(t)}{dt} = x_2(t), \\ \dfrac{dx_2(t)}{dt} = \dfrac{1}{J_x} u(t) \end{cases} \qquad (21)$$

$y(t) = x_1(t), x(t_0) = x_0, t \geq t_0$.

Запишем систему (21) следующим образом

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu, \\ y &= Cx. \end{aligned} \qquad (22)$$

Для системы (22) наблюдатель будет описываться следующим уравнением

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L(y(t) - \hat{y}(t)),$$
$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t),\ \hat{x}(t_0) = \hat{x}_0,\ t \geq t_0 \qquad (23)$$

Матрицу L выберем в виде

$$L(t) = (x(t) - \hat{x}(t))^2 - k = (x(t) - \hat{x}(t)) - k(\varepsilon_1(t)) - K,$$

где $K = \begin{Vmatrix} k_1 \\ k_2 \end{Vmatrix}.$

Исследуем работу наблюдателя, рассматривая ошибку оценивания $\varepsilon(t) = x(t) - \hat{x}(t)$. Для этого вычтем из (22) уравнение (23), учитывая введенную матрицу L. Тогда получим следующее уравнение для ошибки

$$\dot{\varepsilon}(t) = -C\varepsilon^3(t) + (A + CK)\varepsilon(t),$$
$$\varepsilon(t_0) = \varepsilon_0 = x_0 - \hat{x}_0, t \geq t_0, \qquad (24)$$

где источниками ошибки $\varepsilon(t)$ является начальное рассогласование $\varepsilon_0 = x_0 - \hat{x}_0$.
Систему (24) запишем в развернутой форме

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_1 = -\varepsilon_1^3 + k_1\varepsilon_1 + \varepsilon_2 \\ \dot{\varepsilon}_2 = -\varepsilon_2^3 + k_2\varepsilon_2 \end{cases} \qquad (25)$$

Исследуем поведение процесса $\varepsilon(t)$. Система (24) обладает следующими стационарными состояниями:

$$\varepsilon_{1s}^1 = 0,\ \varepsilon_{2s}^1 = 0,\ \varepsilon_{3s}^1 = 0 \qquad (26)$$

$$\varepsilon_{1s}^2 = \sqrt{k_1},\ \varepsilon_{1s}^3 = -\sqrt{k_1},\ \varepsilon_{2s}^{2,3} = \pm\sqrt{k_2} \qquad (27)$$

Задается антиградиентом вектор функций Ляпунова по вектору скорости системы (25):

$$\frac{d\varepsilon_1}{dt} = -\left(\frac{\partial V_1(\varepsilon)}{\partial \varepsilon_1} + \frac{\partial V_1(\varepsilon)}{\partial \varepsilon_2}\right)$$

$$\frac{d\varepsilon_2}{dt} = -\left(\frac{\partial V_2(\varepsilon)}{\partial \varepsilon_1} + \frac{\partial V_2(\varepsilon)}{\partial \varepsilon_2}\right)$$

Компоненты вектора антиградиента будут равны:

$$\frac{\partial V_1(\varepsilon)}{\partial \varepsilon_1} = \varepsilon_1^3 - k_1\varepsilon_1, \quad \frac{\partial V_1(\varepsilon)}{\partial \varepsilon_2} = -\varepsilon_2$$

$$\frac{\partial V_2(\varepsilon)}{\partial \varepsilon_1} = \varepsilon_1^3 - k_1\varepsilon_1, \frac{\partial V_2(\varepsilon)}{\partial \varepsilon_2} = 0$$

Находим полную производную по времени вектор-функций Ляпунова с учетом уравнений состояний (25):

$$\frac{dV(\varepsilon)}{dt} = \frac{\partial V}{\partial \varepsilon}\frac{d\varepsilon}{dt} = -\varepsilon_2^2 - 2(c_1\varepsilon_1^3 + c_1k_1)^2$$

Полное производное по времени от функций Ляпунова получим знакоотрицательную функцию, т.е. достаточное условие выполняется.

Теперь по компонентам вектора градиента можем строить потенциальную функцию:

$$V(\varepsilon)=\frac{1}{4}\varepsilon_1^4-\frac{1}{2}k_1\varepsilon_1^2+\frac{1}{4}\varepsilon_2^4-(k_2+1)\varepsilon_2^2$$

Условие положительной определенности при $c_1>0$

$$\begin{matrix}-k_1>0\\-(k_2+1)>0\end{matrix}\Rightarrow\begin{matrix}k_1<0\\k_2+1<0\end{matrix}\qquad(28)$$

Получили условия устойчивости стационарного состояния (26).
Исследуем устойчивость стационарных состояний (28).
Уравнения состояния (25) в отклонениях относительно стационарного состояния (26) записывается:

$$\begin{cases}\dot{\varepsilon}_1=-c_1\varepsilon_1^3-3c_1\sqrt{k_1}\varepsilon_1^2-4c_1k_1\varepsilon_1-\varepsilon_2\\\dot{\varepsilon}_2=-c_2\varepsilon_2^3-3c_2\sqrt{k_2}\varepsilon_2^2-4c_2k_2\varepsilon_2\end{cases}$$

Полная производная по времени от вектор-функций Ляпунова $V(\varepsilon)$ будет равна

$$\frac{dV(\varepsilon)}{dt}=-(c_1\varepsilon_1^3-3c_1\sqrt{k_1}\varepsilon_1^2-4c_1k_1\varepsilon_1-\varepsilon_2)^2-(c_2\varepsilon_2^3-3c_2\sqrt{k_2}\varepsilon_2^2-4c_2k_2\varepsilon_2)^2$$

является знакоотрицательной функцией.

Обозначим компоненты вектора градиента от функций Ляпунова

$$\frac{dV_1(\varepsilon)}{\partial\varepsilon_1}=c_1\varepsilon_1^3+3c_1\sqrt{k_1}\varepsilon_1^2-4c_1k_1\varepsilon_1,\qquad\frac{dV_1(\varepsilon)}{\partial\varepsilon_1}=-\varepsilon_2,$$

$$\frac{dV_2(\varepsilon)}{\partial\varepsilon_1}=0,\ \frac{dV_2(\varepsilon)}{\partial\varepsilon_2}=c_2\varepsilon_2^3+3c_2\sqrt{k_2}\varepsilon_2^2+4c_2k_2\varepsilon_2$$

Отсюда получаем функцию Ляпунова

$$V(\varepsilon)=\frac{1}{4}c_1\varepsilon_1^4+c_1\sqrt{k_1}\varepsilon_1^3+2c_1\sqrt{k_1}\varepsilon_1^2+\frac{1}{4}c_2\varepsilon_2^4+c_2\sqrt{k_2}\varepsilon_2^3+(2c_2k_2+1)\varepsilon_2^2$$

Условия устойчивости стационарного состояния (28) при $c_1>0,\ c_2>0$ будут равны

$$\begin{cases}k_1>0\\2c_2k_2+1>0\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}k_1>0\\2c_2k_2>-1\end{cases}.$$

Заключение

В данной диссертационной работе получены следующие практические и теоретические результаты:

1. Обоснован и предложен подход к построению систем управления для динамических объектов;
2. Разработан метод построения наблюдателя для одномерных объектов в классе однопараметрических структурно-устойчивых отображений. Наблюдающее устройство, реализующее оценку вектора состояния, объекта управления с неопределенными параметрами является робастным. Под робастностью понимают способность сохранять работоспособность системы в

условиях неопределенности. Показана линейная стационарная замкнутая система управления с неопределенными параметрами;

3. Предложен метод построения наблюдателя в классе однопараметрических структурно-устойчивых отображений для объектов с неопределенными параметрами m входом и l выходами. Доказаны условия асимптотической устойчивости установившихся состояний системы;

4. Разработан метод построения наблюдающего устройства в классе однопараметрических структурно - устойчивых отображений в области канонических переменных преобразования. Показана динамика многомерного стационарного объекта с неопределенными параметрами.

5. Разработан метод исследования устойчивости стационарных состояний на основе идей второго метода А.М. Ляпунова. Показано, что наблюдающее устройство, построенное в классе однопараметрических структурно-устойчивых отображений, будет устойчивой в неограниченно широких пределах изменения неопределенных параметров объекта управления $a_i (i = 1,2,\ldots,n)$;

6. Предложен метод построения наблюдателя в классе двухпараметрических структурно-устойчивых отображений для объектов с одним входом и одним выходом, построен наблюдатель для объектов с m входом и l выходом в классе двухпараметрических структурно-устойчивых отображений. Доказаны условия построения наблюдателя для канонических объектов в классе двухпараметрических структурно- устойчивых отображений. Показаны преимущество применения двухпараметрического структурно – устойчивого отображения в сравнении с исследованием ранее однопараметрическим;

7. Применение моделей и методов анализа и синтеза наблюдателя для искусственного спутника Земли (ИЗС) в классе однопараметрического и двухпараметрического структурно-устойчивого отображения. Предложен подход к построению наблюдателя движения летательного аппарата (ЛА) в классе однопараметрического и двухпараметрического структурно-устойчивого отображения показало эффективность предложенного подхода, а также ряд преимуществ применения двухпараметрического структурно-устойчивого отображения в сравнении с исследованного ранее однопараметрическим.

Практическое использование разработанных в работе методов анализа и синтеза систем управления в классе однопараметрических и двухпараметрических структурно – устойчивых отображений для построения САУ технологическим процессом показало, что устойчивая система управления при любом линейном законе управления стабилизируется и не имеет ограничений на неопределенные параметры процесса, что подтверждено результатами численного эксперимента.

Применение теоретических результатов в процессе проектирования и создания микропроцессорной САУ технологическими процессами позволили: повысить точность управления, улучшить робастную устойчивость микропроцессорных систем автоматического управления при неконтролируемом изменении параметров технологических процессов, повысить нечувствительность системы управления к внешним и внутренним возмущениям.

Публикации

1. Даутбаева А.О. Построение наблюдающего устройства обеспечивающего работоспособность для объектов с m входом и l в классе двухпараметрических структурно-устойчивых отображений. –Алматы. Вестник КазНТУ им. Сатпаева, №3(79) 2010,-182.
2. Даутбаева А.О. Построение наблюдателя для канонических объектов в классе структурно-устойчивых отображений.- Красноярск. Научно-инновационный центр «В мире научных открытий» №3(09) Часть 1, 2010,с -49.
3. Бейсенби М.А. Даутбаева А.О. Построение наблюдателя в классе двухпараметрических структурно-устойчивых отображений. - Вестник «Ақмешіт» №2, 2010,-137.
4. Даутбаева А.О. Построение наблюдателя для объектов с одним входом и одним выходом в классе структурно-устойчивых отображений. –Алматы. Вестник КазНТУ им. Сатпаева, №4(80),2010, с-196.
5. Бейсенби М.А., Даутбаева А.О. Управляемость и наблюдаемость линейных систем. Кызылорда: КГУ имени Коркыт Ата- Вестник №28, 2009г.
6. Даутбаева А.О. Разработка методов оценки робастной устойчивости наблюдающего устройства в условиях неопределенности. III международная практическая конференция молодых ученых –Тараз 2009.-266с.
7. Бейсенби М.А., Турешбаев А.Т., Даутбаева А.О. Исследование наблюдающего устройства с повышенным потенциалом робастной устойчивости для одномерных систем методом функции А.М. Ляпунова.- Вестник КазНУ им. Аль-Фараби №4 2009.-52с.
8. Даутбаева А.О. «Управляемость и наблюдаемость линейных систем» Международная научная конференция «Теоретические и прикладные проблемы математики, механики и информатики » Караганда: КарГУ им. академика Е.А. Букетова, 2010г.
9. Даутбаева А.О. «Наблюдатель состояния» Международный симпозиум «Информационно-коммуникационные технологии в индустрии, образовании и науки» Караганда: КарГТУ, 2010г.
10. Даутбаева А.О. «Методы исследования робастной устойчивости» Международный симпозиум «Информационно-коммуникационные технологии в индустрии, образовании и науки» Караганда: КарГТУ, 2010г.
11. Бейсенби М.А., Даутбаева А.О., Сапарходжаев Н.П. «Построение наблюдающего устройства в классе однопараметрических структурно-устойчивых отображений в области канонических переменных преобразования » Международная конференция Электроника и компьютер IKECCO Бишкек, 2010г.
12. Бейсенби М.А., Даутбаева А.О., Сапарходжаев Н.П. «Элементы теории катастроф и качественной теории динамических систем» Международная конференция Электроника и компьютер IKECCO Бишкек, 2010г.

Дәуітбаева Айгүл Оспанқызы

05.13.01- Жүйелік талдау, ақпаратты өңдеу және басқару

ТҮЙІН

Дессертациялық жұмыстың мақсаты құрылымды - орнықты бейнелер тобындағы бақылаушының құрастырылуының теориялық негізін талдау болып табылады. Алға қойылған мақсат шеңберінде төмендегі міндеттер шешіледі:

- Робастық орнықтылықты зерттеудің жаңа тәсілдері;
- Бір шығысты және бір кірісті құрылымды - орнықты бейнелердің бірпараметрлі, екіпараметрлі тобындағы жағдай бақылаушысын құрастырудың моделдері мен тәсілдерін жасау;
- m шығысты және 1 кірісті құрылымды - орнықты бейнелердің бірпараметрлі, екіпараметрлі тобындағы жағдай бақылаушысын құрастырудың моделдері мен тәсілдерін жасау;
- жоғары потенциалды робастық орнықтылықты жүйелердегі ашуларды бағалай отырып тәсілдерді талдау;
- анықталмаған шарттардағы бақылау құрылғыларының робастық орнықтылығының бағалау тәсілдерін талдау;
- техникалық нысандарды және технологиялық процестерді басқару кезіндегі кейбір маңызды міндеттерінде жоғары потенциалды робастық орнықтылықты бақылау құрылғыларын қолдану;
- жоғары потенциалды робастық орнықтылықты бақылау құрылғыларын сандық сынақтар көмегімен зерттеу.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы

- ұсынылған нәтижелердің ғылыми жаңалығы анықталмаған параметрлі және реттегіштің бапталатын параметрлі нышандарға арналған апаттар теориясынан алынған екіпараметрлі құрылымды - орнықты бейнелердің тобындағы жоғары потенциальды робастық орнықтылықты жүйелерді басқару тәсілдері мен модельдерін жасау болып табылады. Бұл бір параметрлі құрылымды - орнықты бейнелерді қолданумен салыстырғанда бірнеше қатар артықшылығы бар екендігін көрсетті, оған сапаның анағұрлым жоғары көрсеткіштері кірді, олар - іс -әрекет жылдамдығы, тербелістігі, қайта реттелуі;

- ғылыми жаңалығы болып көрсетілген шектеулерден тұрған жүйенің жүйе параметрлерінің өзгеруіне қарай робастық орнықтылыққа зерттеу болып табылады, бұл жағдайда орнықтылық сақталады, шектелмеген ұлғаймалы ауданды сыртқы және ішкі ашулар болған жағдайдағы орнықтылықты қозғалысты жүйелердің моделі мен талдау және синтездеу тәсілдерін талдау қажеттігі пайда болады;

- алғаш рет жоғары потенциальды робастық орнықтылықты жүйелерді басқарудың орнықты орнатылған \ стационарлық\ қалпын табу әдістемесі ұсынылды.

Жұмыс нәтижелерінің тәжірибелік құндылығы және іске асырылуы

Диссертациялық жұмыстан алынған теориялық нәтижелер технологиялық процесстерді автоматты түрде басқарылатын микропроцессорлық жүйелерді жасау және талдау кезінде қолданылды және басқару дәлдігін, параметрлерінің өзгерулері бақыланбайтын технологиялық процесстерді автоматты түрде басқаратын микропроцессорлық жүйелердің робастық орнықтылығын жақсартуға мүмкіндік берді.

Dautbaeva Aigul Ospanovna

Models and methods of analysis and synthesis of an observer in a class of structurally stable maps

05.13.01 – System analyses, control and information processing

THE SUMMARY

The purpose of this dissertation work is to develop a theoretical basis for constructing an observer in a class of structurally stable maps. Under this goal the following tasks:

- study methods for estimating the state of the object, control and disturbance;
- modern methods of robust stability;
- development of models and methods for constructing an observer status in the class of one-parameter, two-parameter structurally stable maps with one input and one output;
- development of models and methods for constructing an observer status in the class of one-parameter, two-parameter structurally stable maps with m input and 1 output;
- Develop methods for estimating disturbances in systems with high potential for robust stability;
- develop methods to evaluate the robust stability of the observed device under conditions of uncertainty;
- application of the observer unit with a high potential for robust stability for some urgent problems managing technical objects and processes;
- Study with the help of numerical experiments on observing devices with increased potential of robust stability.

Scientific novelty of work

- Scientific novelty of the proposed outcome is to develop models and methods of control systems with high potential for robust stability of a two-parameter class of structurally stable maps from catastrophe theory for objects with uncertain parameters and configure the controller, which showed several advantages over the use of one-parameter structurally stable maps to a far greater quality indicators such as speed, oscillation and overshoot;
- Scientific novelty of the research system has robust stability, which consists in pointing out the restrictions on changing the system parameters under which we have stability, it becomes necessary to extend the domain of stable motion in the presence of external and internal disturbances.

The practical value and implementation of performance

The theoretical results obtained thesis is used in the design and construction of the circuit of microprocessor systems, process control and allowed: precise control to improve robust stability of microprocessor automatic control systems at uncontrolled changes in the parameters of technological process.