## 8 Лекция №8. Перспективные системы управления

Адаптивной системой является система, в которой при изменении параметров объекта автоматически обеспечиваются заданные показатели качества. Например, прокатный стан – объект регулирования. Листовая сталь, постепенно проходя через вращающиеся валики, уменьшается в толщине до заданной. Текущие параметры объекта (толщина листа) изменяются, но заданные показатели качества регулирования двигателя должны оставаться неизменными (например, запас по амплитуде и фазе).

### 8.1 Классификация адаптивных систем

При решении технических задач, связанных с использованием самоприспосабливающихся систем (СПС), принципиальное значение имеет классификация по характеру процесса адаптации (рисунок 8.1).

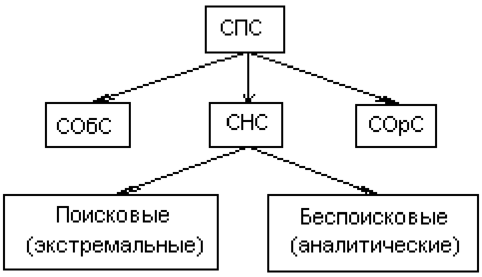


Рисунок 8.1 – Классификация адаптивных систем

*Самонастраивающиеся* системы (СНС), относящиеся к этой линии классификации, представляют собой системы, в которых адаптация при изменении условий работы осуществляется путем изменения параметров и управляющих воздействий.

*Самоорганизующимися* (СОрС) называются системы, в которых адаптация осуществляется за счет изменения не только параметров и управляющих воздействий, но и структуры. Самоорганизующиеся системы для своего функционирования используют меньший объем априорной информации по сравнению с самонастраивающимися, поэтому они являются системами более сложного типа.

*Самообучающаяся* (СОбС) - это система автоматического управления, в которой оптимальный режим работы управляемого объекта определяется с помощью управляющего устройства, алгоритм которого автоматически целенаправленно совершенствуется в процессе обучения путем автоматического поиска. Поиск производится с помощью второго управляющего устройства, являющегося органической частью самообучающейся системы.

Самонастраивающиеся системы в свою очередь делятся на *поисковые,* или *экстремальные,* и *беспоисковые,* или *аналитические*.

В *поисковых* системах изменение параметров управляющего устройства или управляющего воздействия осуществляется в результате поиска условий *экстремума* показателей качества. Поиск условий экстремума в системах этого типа осуществляется с помощью *пробных воздействий* и *оценки полученных результатов.*

В *беспоисковых* системах определение параметров управляющего устройства или управляющих воздействий производится на основе *аналитического* определения условий, обеспечивающих заданное качество управления без применения специальных поисковых сигналов.

С точки зрения необходимого объема априорной информации обычные беспоисковые самонастраивающиеся системы представляют наиболее простой класс адаптивных систем, так как они требуют большего объема априорной информации, чем поисковые самонастраивающиеся системы. Однако важным достоинством беспоисковых (аналитических) систем является отсутствие поисковых движений. Поэтому время самонастройки обычных беспоисковых самонастраивающихся систем, как правило, значительно меньше, чем у поисковых систем.

При применении адаптивных систем решаются следующие основные задачи:

– в процессе функционирования системы управления при изменении параметров, структуры и внешних воздействий обеспечивают такое управление, при котором сохраняются заданные динамические и статические свойства системы;

– в процессе проектирования и наладки при начальном отсутствии полной информации о параметрах, структуре объекта управления и внешних воздействиях производят автоматическую настройку системы в соответствии с заданными динамическими и статическими свойствами.

## 8.2 Синергетические оптимальные системы

Название «синергетика» произошло от греческого «синергос» - «вместе действующий» и обозначает общенаучное направление, изучающее совместные действия нелинейных динамических систем различной природы. Базовые положения синергетической теории заключаются в следующем.

В синергетических системах в процессе самоорганизации происходит уменьшение числа степеней свободы, т.е. управляемая декомпозиция фазового пространства, путем выделения лишь нескольких координат, к которым подстраиваются остальные. Именно эти так называемые макропеременные $\psi_i(x_1, ...,x_n)$ и определяют основные особенности динамики системы, открывая возможность построения упрощенных агрегированных моделей.

Следствием этого процесса самоорганизации является образование в фазовом пространстве так называемых аттракторов - инвариантных многообразий $\psi_i = 0$, к которым притягиваются траектории системы.

Каждый аттрактор имеет свою область притяжения в фазовом пространстве, отделенную границей от других областей. Причем направленная самоорганизация обеспечивает выход на желаемый аттрактор за счет соответствующего выбора алгоритма изменения управляющих воздействий как функций координат системы.

Аналитическое конструирование агрегированных регуляторов состоит из следующих этапов:

1) Постановка задачи. Объект управления (ОУ) описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\dot{x} = f(x,u), \tag{8.1}$$

где $x \in R^{n\times 1}$ - вектор состояния.

Требуется найти закон управления $u^o(x)$, который обеспечивает перевод изображающей точки из произвольного начального состояния сначала в окрестность инвариантного многообразия $\psi(x_1, \ldots, x_n) = 0,$ а затем дальнейшее устойчивое асимптотическое движение вдоль этого многообразия в желаемое состояние, в частности, в начало координат.

Примером решения подобной задачи может служить известная оптимальная по быстродействию система второго порядка, в которой $\psi(x_1, x_n) = 0$ - уравнение линии переключения, с которой изображающая точка должна сначала сблизиться, а затем двигаться вдоль нее к началу координат.

2) Выбор агрегированных макропеременных, т.е. функций $\psi_i(x_1, \ldots, x_n)$.

Эти функции могут строиться различными способами, и их поиск является главной задачей проектирования. Этот поиск, пока в большей мере, носит эвристический характер.

3) Нахождение закона оптимального управления производится без решения оптимизационной задачи. Изменение макропеременной ψ/(t) считается оптимальным, если минимизируется так называемый сопровождающий оптимизирующий функционал, имеющий, в частности, вид улучшенной квадратичной оценки:

$$J_{20} = \int_0^\infty \left[\psi^2(t) + T^2\dot{\psi}^2(t)\right]dt. \tag{8.2}$$

Как известно, минимум такому функционалу доставляет асимптотически стремящаяся к 0 экспонента, являющаяся общим решением так называемого функционального уравнения:

$$T\dot{\psi}(t) + \psi(t) = 0. \tag{8.3}$$

Затем определяют производную от макропеременной по времени, как от сложной функции в силу уравнений объекта. Эту производную и саму макропеременную подставляют в функциональное уравнение и находят отсюда искомый закон оптимального управления. Сопровождающий оптимизирующий функционал с учетом $\psi(t)$ позволяет также найти критерий качества, по которому оптимизируется синтезируемая система. Он содержит высокие степени координат, что существенно улучшает важные показатели качества в отношении быстродействия, перерегулирования, демпфирования колебаний и др. Особенно эти достоинства проявляются в областях значительных отклонений изображающей точки от заданного состояния.

*Пример.* Заданы уравнения движения самолета в вертикальной плоскости:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 u \end{cases},$$

где $x_1$ - угол атаки;

$u$ - отклонение руля высоты.

1-й вариант:

1) Агрегированную макропеременную выберем линейной:

$$\psi(x_1, x_2) = \beta_1 x_1 + x_2.$$

2) Находим производную от нее по времени с учетом уравнений ОУ:

$$\dot{\psi} = \beta_1 x_2 + \dot{x}_2 = \beta_1 x_2 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 u.$$

3) Подставляя $\psi$ и $\dot{\psi}$ в функциональное уравнение, находим закон оптимального управления:

$$u^0 = -\frac{1}{a_3}\left(a_1 + \frac{\beta_1}{T}\right)x_1 - \frac{1}{a_3}\left(a_2 + \beta_1 + \frac{1}{T}\right)x_2.$$

4) Подставляя этот закон в уравнения объекта, получим уравнения замкнутой системы:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = -\frac{\beta_1}{T} x_1 - \left(\beta_1 + \frac{1}{T}\right) x_2 \end{cases},$$

условия устойчивости которой px > 0 и T > 0.

Совместное решение приводит к одному уравнению:

$$\frac{T}{\beta_1}\ddot{x}_1 + (T + \frac{1}{\beta_1})\dot{x}_1 + x_1 = 0\,,$$

которое при $\xi = \frac{1+\beta_1 T}{2\sqrt{\beta_1 T}} \geq 1$ эквивалентно апериодическому звену второго порядка с особой точкой типа «устойчивый узел» (рисунок 8.2).

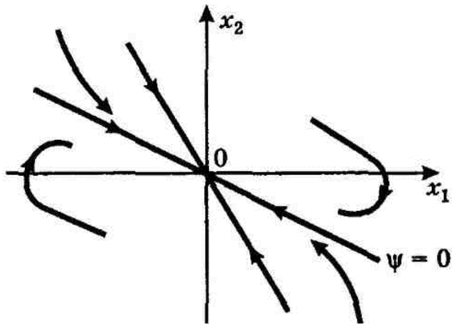


Рисунок 8.2 - Фазовые траектории оптимального управления

Многообразие $\psi = 0$, т. е. $x_2 = -\beta_1 x_1$, является прямолинейной фазовой траекторией, стремящейся к началу координат.

2-й вариант:

1) Если применить нелинейную макропеременную:

$$\psi = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_1^3 + x_2,$$

то аналогично определим нелинейный закон оптимального управления:

$$u^0 = -\frac{1}{a_3}\left[\left(a_1 + \frac{\beta_1}{T}\right)x_1 - \left(a_2 + \beta_1 + \frac{1}{T}\right)x_2 - \frac{\beta_2}{T}x_1^3 - 3\beta_2 x_1^2 x_2\right].$$

Из уравнения многообразия $\psi = 0$ найдем $x_2$ и, подставив в первое уравнение ОУ, получим нелинейное дифференциальное уравнение движения системы вдоль многообразия $\psi = 0$ к началу координат (рисунок 8.3):

$$\dot{x}_1 = -\beta_1 x_1 - \beta_2 x_1^3.$$

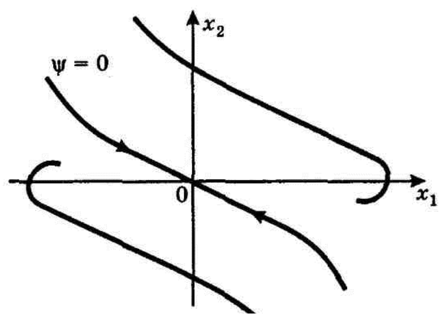


Рисунок 8.3 - Фазовые траектории оптимального управления