

## Лекция 4

### Типы систем автоматического управления

По мере накопления опыта в изучении управляющих систем живой и неживой природы появилась необходимость в классификации их разновидностей.

В 1961 г. основным и наиболее удобным признаком классификации была выбрана *информация* об управляющем процессе или системе.

Информацией называется любая совокупность сведений, первичным источником которых является опыт. Информация играет определяющую роль в процессах управления. Например, для того, чтобы управлять автомобилем, необходимы зрение и слух как источники информации об окружающей обстановке и состоянии машины.

В процессе типизации систем следует различать два вида информации: начальную или априорную информацию и рабочую.

Необходимой *начальной* или *априорной* информацией называется совокупность сведений об управляемом процессе и управляемой системе, необходимых для ее функционирования и имеющихся в распоряжении до начала работы системы. В очень упрощенном виде примером начальной информации может служить функциональная связь между площадью зрачка глаза и интенсивностью светового потока падающего на сетчатку.



Рис. 4.1. Классификация систем автоматического управления

*Рабочей* информацией называется совокупность сведений о состоянии процесса, используемых в самом процессе управления. В той же системе регуляции зрачка рабочей информацией является разность между требуемым значением светового потока, формируемым в центральной нервной системе (ЦНС) и его текущим значением, выделяемым фоторецепторами сетчатки. В соответствии с этим все системы были разделены на три категории: обыкновенные, самонастраивающиеся и игровые.

### **Обыкновенные САУ**

В соответствии с признаком объема начальной информации обыкновенными или самонастраивающимися системами автоматического управления называются системы, *требующие* для построения и функционирования *наибольшей (полной) начальной информации*.

Можно дать другое определение обыкновенных систем, согласно которому к ним относят системы не обладающие способностью приспособления к изменяющимся условиям и свойствам управляемого процесса.

К классу обыкновенных САУ отнесены замкнутые и разомкнутые системы. Особенности разомкнутых систем рассмотрены в предыдущей главе и системы подобного рода в большей части встречаются в технике.

Замкнутые обыкновенные САУ по виду рабочей информации разделены на три группы:

- стабилизирующие;
- программные;
- следящие.

Как правило, все три указанные группы отрабатывают задачу *регулирования*, т.е. установления четкой взаимосвязи между выходной (регулируемой) величиной и входной (заданной). Характер же процесса регулирования определяет вид группы САУ,

#### *Определение 1*

*В обыкновенных стабилизирующих системах заданные значения регулируемых величин постоянны.*

#### *Определение 2*

*В системах программного регулирования (управления) заданные значения регулируемых величин изменяются во времени по строго определенной и предварительно сформированной программе*

#### *Определение 3*

*В следящих системах заданное значение регулируемых величин может изменяться в некоторых пределах произвольным, заранее неизвестным образом, а сама регулируемая (выходная) величина точно воспроизводит характер изменения заданной,*

Примером стабилизирующих систем могут служить системы гомеостаза.

Программный механизм в биологических системах может задаваться внутренними и внешними условиями, например, суточная периодика

физиологических функций (урежение пульса ночью, повышение температуры тела к вечеру и т.д.).

Примером следящих систем может служить глазодвигательная система при слежении за движущимися объектами, следящая моторика двигательной мышечной системы человека или животного и т.д.

### **Самонастраивающиеся САУ**

Самонастраивающиеся системы — это такие системы, которые обладают способностью в той или иной мере приспособливаться к изменяющимся внешним условиям.

Именно благодаря такой способности самонастраивающиеся системы *не требуют полной начальной информации* о свойствах управляемого процесса. Действия по управлению объектом сочетаются в них с непрерывными или периодическими испытаниями объекта. За счет результатов этих испытаний выполняется недостаток начальной информации.

В искусственных или технических системах самонастройки произошло их разделение на четыре группы (рис. 4.1.):

- системы экстремального регулирования (системы автопоиска максимума или минимума управляемой величины);
- системы регулирования с самонастройкой параметров корректирующих устройств;
- самооптимизирующиеся системы автоматического управления;
- обучаемые САУ.

Примером систем первой группы может служить САУ настройки радиоприемников на требуемую радиостанцию. Применяемый сигнал имеет острый максимум при совпадении частоты настройки с частотой радиостанции. Если частота станции и настройки неизвестны, то САУ вначале производит «слепой» поиск, изменяя частоту в нужную сторону. При грубом совпадении частот, САУ путем двухстороннего сканирования околопикового пространства добивается положения регулятора, при котором сигнал максимален по уровню. Если частота «плышет», то происходит непрерывное отслеживание максимума сигнала.

Третий класс самонастраивающихся систем охватывает самооптимизирующиеся САУ, которые решают задачи наибольшего быстродействия, высшей экономичности, лучшего качества и т.д. Чаще всего на практике возникает необходимость обеспечения максимального быстродействия исполнительных механизмов или минимальных затрат энергии на совершение переходных процессов. При этом, естественно, ограничены какие-то внутренние переменные объекта или оговорены дополнительные условия работы.

*Определение 4*

*Самооптимизирующимися системами называется САУ, в которых полностью используются динамические возможности объекта для совершения переходных процессов при заданных ресурсных ограничениях.*

В качестве примера подобной САУ можно привести систему управления разгоном электродвигателя, реализующей условие наименьшего времени разгона при жестких ограничениях его энергопотребления в данном режиме.

### **Обучаемые системы управления**

Системы, предназначенные для целенаправленного совершенствования структуры, параметров или алгоритма действия на основе анализа информации, накопленной в процессе функционирования, составляют особый класс обучающих автоматов.

Сложные обучающиеся системы управления способны автоматически выработать наиболее оправданную линию своего поведения при изменяющихся внешних условиях. Обучение можно рассматривать как вид организации систем, более совершенный по сравнению с адаптивными устройствами, рассмотренными в предыдущем разделе.

Процесс обучения будет успешным лишь в том случае, если на обучающуюся систему воздействуют сигналы внешней корректировки («поощрение» или «наказание»), фиксирующие целесообразность предпринятых действий. В самообучаемых системах такая внешняя корректировка отсутствует.

Характерная особенность поведения обучающихся систем заключается в том, что вначале машина обычно ничего «не знает» об условиях работы, но с течением времени, используя различные виды автоматического поиска с анализом его результатов, она накапливает информацию и применяет ее для корректировки своих действий. Процесс обучения в большинстве случаев можно рассматривать как процесс последовательных приближений.

Наиболее важной и развитой группой обучающихся систем являются системы распознавания образов. В основе их работы лежит принцип массовых параллельных вычислений, который коренным образом отличается от принципа последовательных операций, реализованных в фон-Неймановских процессорах. Для таких вычислений разработаны специальные нейросетевые алгоритмы управления. Принцип и структура их функционирования заимствованы из нейронной структуры головного мозга. Нейроны непрерывно обрабатывают информацию и обмениваются ею друг с другом.

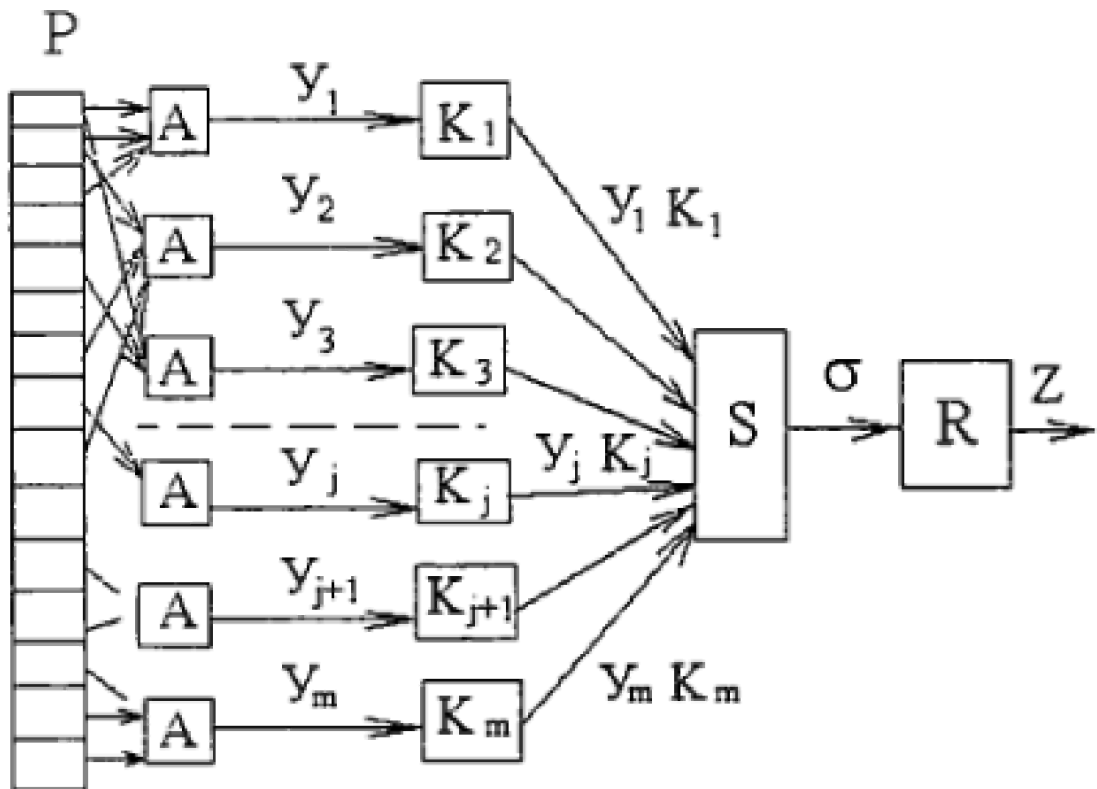
Впервые идея обучения в нейронных сетях нашла отражение в книге Хебба (Невв) «Организация поведения» (1949 г.). В дальнейшем эта идея была развита в работах Эдмондса (Edmonds) и Мински (Minsky) в 1951 г., но фактически началом разработок в области обучающихся машин послужила работа Розенблатта (Rosenblatt), вышедшая в 1962 г. Розенблатт предложил класс простых нейроноподобных сетей, названных перцептроном. В основу

работу перцептрона положены теоремы, в соответствии с которыми функция памяти человека распределена случайным образом среди большого количества одинаковых ассоциирующих элементов и начальная неопределенность организации мозга при рождении очень велика. Мыслящий организм вырабатывает понятия и алгоритмы своих действий в окружающей обстановке в результате обучения и накопления опыта.

Перцептрон представлял собой статистическую самообучаемую систему со случайными связями между основными элементами. Схема простейшего перцептрона приведена на рис. 4,3. Он состоит из рецепторов  $P$ , ассоциативных элементов  $A$ , усилителей  $K$  с переменным коэффициентом усиления, сумматоров  $S$  и выходных элементов  $R$  (реагирующих элементов).

Рецепторы выполняют функции датчиков устройства и служат для преобразования изображения в большое число электрических сигналов, поступающих в ассоциативные элементы.

На практике в качестве рецепторов обычно применяют фотоэлементы и другие светочувствительные приборы (например ПЗС-матрицы технического зрения роботов и т.д.). Таким же образом на почте работают сортировочные автоматы распознавания индексов городов на конвертах писем.



**Рис. 4.3. Схема простого перцептрона**

Ассоциативное устройство состоит из набора одинаковых пороговых элементов, число которых близко к числу рецепторов. Они имеют по несколько входов и одному выходу, причем каждый рецептор может быть подключен к данному А-элементу со знаком плюс или минус, либо вообще не подключен. Характер связей между рецепторами и А-элементами является случайным, но в ходе экспериментов не изменяется. Задача А-элементов сводится к алгебраическому суммированию входных сигналов. Если полученная сумма оказывается больше некоторой величины  $Q_i$ , то А-элемент возбуждается, вырабатывая выходной сигнал равный единице, в противном случае выходной сигнал равен нулю. Таким образом, функция выходного сигнала ассоциативного элемента подчиняется следующему закону

$$y_j = \begin{cases} 1, & \left( \sum_{i=1}^n r_{ij} x_i - Q \right) \geq 0; \\ 0, & \left( \sum_{i=1}^n r_{ij} x_i - Q \right) < 0. \end{cases}$$

где  $j$  – номер линии А-элемента в сети;

$i$  – номер связи А-элемента с результатами;

$r_{ij}$  – коэффициент, принимающий значения +1, 0, -1;

$x_i$  – определенный весовой коэффициент, определяющий уровень выходного суммарного сигнала  $y_i$  из А-элементов, относительно пороговой величины  $Q$ .

Выходные сигналы  $y_j$  поступают в суммирующее устройство  $S$ , которое в свою очередь вырабатывает сигнал

$$\sigma = \sum_{j=1}^m K_j Y_j,$$

где  $m$  – число ассоциативных элементов;

$K_j$  – переменный коэффициент усиления усилителей, который может быть и меньше нуля.

Сигнал  $\sigma$  передается на вход регулирующего элемента  $R$ , реакция  $Z$  которого отвечает условию

$$Z = \begin{cases} 1, & \text{при } \sigma \geq 0; \\ 0, & \text{при } \sigma < 0. \end{cases}$$

Таким образом, задача обучения перцептрона состоит в таком подборе коэффициентов  $K_j$ , чтобы  $Z = 1$  при распознавании фигур одного образа и  $Z = 0$ , при появлении фигур другого образа.

Для распознавания фигур больше двух или сложных изображений применяют специальные перцептроны с разбиением ассоциативных элементов на группы (многослойные перцептроны).

Процесс обучения машины распознавания образов часто можно свести к определению поверхности, выделяющей в  $n$ -мерном пространстве области, соответствующие различным образам. В этом случае распознавание обученной машиной некоторого неизвестного изображения состоит в испытании этого изображения и в отыскании области, к которой относится

данное изображение. Данный подход позволил развить теорию таких машин, работа которых основана на общности принципов обучения и адаптации. В результате этого в ведущих зарубежных и отечественных центрах технической кибернетики разработаны устройства, обладающие возможностями искусственного интеллекта. Они могут имитировать поведение живых организмов, выработку условных рефлексов. Известны конструкции бытовых роботов и роботов-игрушек, ориентирующихся во внешней обстановке, узнающие своих хозяев и подстраивающихся под их настроение, выбирающих тематику определенного диалога и прочих.

### **Игровые САУ**

Для управления сложными техническими процессами и объектами выделился особый класс систем автоматического управления, алгоритм работы которых построен на правилах, напоминающих правила проведения какой-либо игры. В игре могут участвовать две или более число сторон. Действия сторон могут быть частично случайными, частично подчиненными некоторым условиям и правилам.

Данный тип систем получил интенсивное развитие на базе современной техники и успешно развиваемой математической теории игр.

Игра состоит из ряда последовательных этапов - *шагов*. Вследствие этого управление в игровой системе производится дискретно путем формирования дискретной последовательности команд управления одной или несколькими сторонами, участвующими в игре.

Особенностью принципа действия игровых систем является формирование команд управления на основе сопоставления множества возможных решений - выборов в каждом этапе управляемой операции. Критерием сопоставления различных возможных решений-выборов служит некоторый показатель, именуемый *функцией выгоды*.

Функция выгоды задается при построении игровой системы на основе анализа управляемой операции. *Решения, соответствующие наибольшему значению функции выгоды, называются оптимальными.*

Основным узлом игровой САУ является компьютер, определяющий множество возможных выборов и оптимальный выбор в этом множестве. Большинство игровых систем может быть представлено в виде игры двух участвующих сторон: первой стороны, управляемой данной системой, и второй стороны, неуправляемой данной системой.

В качестве известных примеров можно привести программы для игры в шахматы, шашки и т.д., но есть и практическая область применения игровых систем управления. Например, САУ системы связи между несколькими населенными пунктами. В каждом из пунктов непрерывно появляются запросы на передачу информации в другие населенные пункты. Ставится задача такого управления средствами и каналами связи, при котором обеспечивалась бы передача максимального общего количества информации

в единицу времени. Первой стороной в данной системе является вся сеть связи, а второй стороной -запросы на передачу информации. Функцией выгоды является общее количество информации, передаваемой в единицу времени.

В игровых САУ, как и в других типах, различают начальную и рабочую информацию. Необходимая начальная информация о первой стороне в игровых САУ должна быть полной. В приведенном примере о системе связи необходимой начальной информацией о первой стороне являются сведения о пропуске способности всех каналов и узлов связи.

В то же время необходимая начальная информация о второй стороне в игровых САУ минимальна, поэтому они относятся к системам с минимальной начальной информацией. Действительно, в примере о системе связи мы не можем иметь полной информации о числе запросов, которые поступят в следующий момент времени.

Рабочая информация в игровых системах представляет собой совокупность сведений о текущем состоянии и действиях участвующих сторон.

Общая схема игровой системы автоматического управления представлена на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Схема игровой САУ

В начале управляемой операции в управляющую машину поступает рабочая информация о второй стороне. На основе этой информации и начальной информации компьютер определяет оптимальный выбор из числа возможных и формирует соответствующие оптимальному выбору команды управления, которые воздействуют на управляемый процесс.

Различают два типа игровых САУ: с набором шаблонных решений и с автоматическим поиском решений. В первом типе систем задача оптимального выбора решена заранее для какого-то множества вариантов



действий второй стороны. В компьютере уже хранятся шаблоны решений. Задача его сводится к установлению соответствия фактических действий второй стороны одному из расчетных вариантов и формированию команд, соответствующих заготовленному для этого варианта решению. Это решение определяет действия первой стороны в течение всей операции.

Шаблонные игровые САУ имеют ограниченную область применения, т.к. на практике число возможных действий сторон на протяжении всей операции управления так велико, что их невозможно охватить ограниченным количеством шаблонов.

Более совершенными игровыми САУ являются системы с автоматическим поиском решений. Они действуют следующим образом. Компьютер, в самом начале операции, получает информацию о действиях второй стороны, и, на основе начальной информации о первой стороне определяет множество возможных выборов для первого, более или менее короткого этапа операции.

Далее компьютер вычисляет значения функции выгоды для найденных возможных выборов и устанавливает оптимальный. Команды, соответствующие оптимальному выбору первого этапа, поступают на управляемую систему и определяют течение управляемого процесса на первом этапе.

Подобным же образом протекает второй и последующие этапы управления. Процесс управления в игровой САУ с автоматическим поиском решений является замкнутым дискретным процессом.

### **Проблемы типизации биологических управляющих систем**

При анализе работ, посвященных вопросам биологических систем управления, заметен разный подход авторов к их типизации. Сложность решения данной задачи объясняется множеством функций, обрабатываемых данными системами.

Дж. Милсум выделяет два класса систем - регулирующие и следящие. Однако кроме этих двух систем значительное внимание уделяет также адаптивным или самоприспосабливающимся системам управления [5].

В.В. Парин, Р.М. Баевский утверждают, что системы автоматического управления могут работать в следующих режимах: 1) компенсирующий режим; 2) режим слежения (программное регулирование); 3) режим саморегулирования (самонастраивающиеся системы) [6]. В данной же работе поясняется, что «адаптация - это один из вариантов саморегулирования систем. Саморегулирование, самоприспосабливание - фундаментальные свойства любого биологического объекта от клетки и до живых сообществ (биоценозов). Существенно, что принципы саморегулирования в различных живых и технических системах совпадают».

Вполне очевидно, что принципы типизации разрабатываемые классической теорией управления для технических систем и отраженные на

рис. 4.1, в чистом виде в биологических системах не присутствуют в силу их чрезмерной сложности и многофункциональности.

Как правило, живые САУ отработывают одновременно целый комплекс задач: стабилизация, слежение, адаптация, работа по программе и т.д. Подтверждение этому мы также находим в работе [6], где говорится, что «обычные» системы управления и регулирования основаны на гомеостазе, слежении и выполнении определенных программ. Такие системы являются элементами более сложных кибернетических систем, основное свойство которых заключается в способности к самоулучшению путем самообучения». Биологические системы характеризуются тем, что их самоулучшение касается не одного какого-то показателя, а целой системы показателей, так как в решении различных задач одновременно участвует много систем живого организма. Важное свойство живых организмов состоит также в способности самообучения на основе неполной информации. Вместо недостающей информации система использует накопленный ею опыт и дополняет недостающую информацию некоторыми общими сведениями стратегического характера.

Для осуществления самообучения принципиальное значение имеет сложность системы. Простые системы не способны к самообучению. Свойством обучения обладают статистические системы, действующие с учетом вероятности успеха и нейроноподобные системы типа перцептрона.

Таким образом, биологические системы с точки зрения их типизации необходимо рассматривать в комплексе, т.к. они ориентированы на решение целого круга задач. Например, зрительная система выполняет одновременно несколько функций - стабилизации, слежения, адаптации, а возможно и других, неизвестных на данный момент времени. Зрачок стабилизирует уровень светового потока на сетчатке, двигательная система глаза позволяет ему следить за подвижными объектами. Глаз может приспособливаться к определенному уровню освещенности, изменять глубину резкости путем трансфокации и т.д.

Тесная связь биологических объектов с внешней средой привела к появлению нового класса управляющих систем, построенных на основе симбиоза живых организмов и технических устройств. В таких системах информация в виде сигналов с биообъекта используется для управления механизмами и самими биообъектами. Данное направление в кибернетике получило название - биоуправление. Оно привело к созданию биоуправляемых протезов, следящих биоэлектрических систем управления, систем биоуправления искусственным дыханием, биоэлектростимуляторов и т.д.

Развитие информатики и мощных вычислительных средств постоянно расширяет области применения биотехнических систем, а также чисто технических, направленных на организацию, структурирование и управление биологическими и медицинскими системами. Например, развитие систем управления учреждениями здравоохранения, спутниковых систем

мониторинга за миграцией сообществ птиц и животных, телевизионной медицины, клинических информационных систем и прочих.

Данный вид средств можно объединить в класс и назвать его организационно-мониторинговым. В литературе он не выделен в отдельную систему, хотя информация о нем вполне достаточно.

Очевидно, что разделить биомедицинские управляющие системы на конкретные классы или типы практически невозможно в силу их сложности и комплексности выполняемых задач. Правильнее, в данном случае, выделять не типы САУ, а конкретные функции, реализуемые отдельными их контурами. Это не будет противоречить классической типизации систем, рассмотренной вначале данного раздела и представленной на рис. 4,1. Таким образом, из всей совокупности функций можно выделить три: обыкновенную, обрабатывающую задачи гомеостаза, следящего и программного регулирования; самоприспосабливающуюся или адаптивную и организационно-управляющие. В соответствии с этим и будем в дальнейшем рассматривать конкретные примеры систем.