

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Список обозначений	8
Глава 1. Основные понятия	9
§ 1. Цели и принципы управления	9
§ 2. Сведения о технических средствах	11
§ 3. Примеры систем автоматического управления	15
§ 4. Проектирование и теория	17
Глава 2. Операторный метод анализа линейных систем	19
§ 1. Описание элементов	19
§ 2. Описание систем	27
§ 3. Устойчивость	40
§ 4. Установившаяся реакция и частотная характеристика	47
§ 5. Анализ типовых структур	52
Глава 3. Построение законов управления	70
§ 1. Программа, обратная связь, стабилизация	70
§ 2. Основные законы управления. Инвариантность	82
§ 3. Метод динамической компенсации	90
§ 4. Выбор желаемой передаточной функции по типовым воздействиям	96
§ 5. Логарифмические частотные характеристики	108
§ 6. Реализация закона управления	121
§ 7. Синтез обратных связей в электромеханической следящей системе	126
Глава 4. Управление при случайных воздействиях	140
§ 1. Случайные воздействия и реакция на них	140
§ 2. Оптимальный выбор передаточных функций	152
§ 3. Грубость и коэффициенты чувствительности показателей качества	160
§ 4. Управление неустойчивыми и неминимально-фазовыми объектами	176
§ 5. Регулирование угловой скорости вала гидравлической турбины	181
Глава 5. Введение в нелинейную теорию	196
§ 1. Необходимость нелинейной теории и ее возможности	196
§ 2. Равновесные состояния и устойчивость	205
§ 3. Автоколебания. Гармонический баланс и гармоническая линеаризация	217
§ 4. Реакция нелинейной системы на внешние воздействия	230
§ 5. О выборе законов управления с учетом нелинейных факторов	244
Глава 6. Метод пространства состояний в линейной теории	250
§ 1. Описание в нормальной форме	250
§ 2. Анализ системы	256

§ 3. Управляемость и наблюдаемость	268
§ 4. Размещение собственных чисел и стабилизация	274
§ 5. Оптимизация стабилизирующей обратной связи	284
§ 6. Управление при наличии случайных возмущений	292
§ 7. Управление при неполных и неточных измерениях	299
§ 8. Системы с переменными параметрами	304
Глава 7. Линейные дискретные системы и импульсное управление	316
§ 1. Свойства дискретных систем	316
§ 2. Управление с обратной связью	320
§ 3. Импульсное управление непрерывными объектами	328
§ 4. Операторный метод	342
Глава 8. Анализ нелинейных систем	359
§ 1. Описание системы. Равновесные состояния	359
§ 2. Построение функций Ляпунова и критерии устойчивости	366
§ 3. Элементы теории возмущений и зависимость от малого параметра	376
§ 4. Периодические решения. Автоколебания и вынужденные колебания	386
Глава 9. Оптимизация программ управления	407
§ 1. Формулировка задачи	407
§ 2. Условия оптимальности. Принцип максимума	411
§ 3. Задачи оптимизации со свободным правым концом траектории	424
§ 4. Линейно-квадратичные задачи	435
§ 5. Оптимизация по быстродействию	445
§ 6. Дискретные системы	457
§ 7. Понятие о численных методах оптимизации	461
§ 8. Численная оптимизация непрерывных систем	471
Глава 10. Синтез оптимальных обратных связей	481
§ 1. Динамическое программирование	481
§ 2. Субоптимальные обратные связи	490
§ 3. Управление при недетерминированных внешних возмущениях	509
§ 4. Управление с обратной связью по неточным измерениям	517
Глава 11. Методы идентификации и адаптивное управление	532
§ 1. Идентификация объектов управления	532
§ 2. Адаптивное управление статическим объектом	549
§ 3. Адаптивное управление динамическими объектами. Самонастройка	569
§ 4. Заключение	581
Приложение 1. Сведения о преобразованиях Лапласа	583
Приложение 2. Сведения из теории матриц	587
Список литературы	604
Предметный указатель	610

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга Анатолия Аркадьевича Первозванного была впервые опубликована издательством «Наука» в 1986 году. Она вобрала в себя все лучшее, что было в отечественной науке об управлении к тому времени — и глубину изложения, и многообразие включенного материала, и методическое мастерство. Несколько слов подробнее об особенностях этого замечательного учебника. Он писался в то время, когда в инженерном образовании еще господствовали концепции ТАР — теории автоматического регулирования, т. е. язык передаточных функций, частотных методов, структурных схем. С другой стороны, существовала математическая теория управления, оперировавшая с описанием в пространстве состояний, задачами оптимизации, аппаратом функционального анализа. Анатолий Аркадьевич проявил большое методическое искусство, построив изложение так, чтобы оно было понятно и инженеру, и математику. Он построил книгу на основе концентрического изложения, которое позволяет выбрать нужный круг материала для разных категорий читателей. Другой особенностью книги является обилие и разнообразие включенных в нее разделов. Наряду с традиционной теорией линейных систем, описанных в терминах «вход–выход», здесь много внимания уделено стохастическим, дискретным и нелинейным системам, задачам оптимального управления, проблемам идентификации. Основные результаты сопровождаются строгими доказательствами, для чего вводится нужный математический аппарат. В то же время огромное внимание уделяется идейной стороне дела,

содержательному смыслу получаемых результатов, объяснению общих законов с помощью наглядных примеров.

Все эти особенности сделали «Курс теории автоматического управления» классическим учебником по данному предмету, который неоднократно использовался для чтения курсов лекций в самых разнообразных учебных заведениях. Конечно, за время, прошедшее с момента издания книги, в современной теории управления произошли значительные перемены. Была развита теория H^∞ -оптимизации, много внимания уделялось проблеме робастности, разработаны новые методы синтеза и т. д. Однако идейные основы этой области знания остались прежними, и курс А. А. Первозванского может служить прекрасным введением в предмет.

Можно приветствовать инициативу издательства «Лань» по переизданию учебника. К сожалению, Анатолия Аркадьевича уже нет с нами (он трагически погиб 4 сентября 1999 г.), поэтому какая бы то ни было доработка книги неуместна. В текст внесены лишь небольшие изменения и исправления замеченных опечаток. Эту полезную работу проделал Леонид Моисеевич Яковиц при содействии всех сотрудников кафедры «Механика и процессы управления» Санкт-Петербургского Государственного Технического Университета.

Я надеюсь, что читатель нового издания «Курса теории автоматического управления» получит такое же удовольствие от книги, какое получали студенты и преподаватели в течение многих лет.

*Б. Т. Поляк,
заведующий лабораторией им. Я. З. Цыпкина
Института проблем управления РАН.*

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

Обозначения величин и функций сохраняются только в пределах каждой главы. При ссылках приняты сокращенные обозначения: П.— пример, Т.— теорема. Нумерация формул, теорем и примеров двойная (сначала номер параграфа в данной главе, затем номер внутри параграфа), самостоятельная в каждой главе. При ссылках на другую главу указывается ее номер.

■ — конец доказательства теоремы или ее формулировки (если доказательство не приводится)

□ — конец примера

$A \Rightarrow B$ — из A следует B

$A \Leftrightarrow B$ — A эквивалентно B (тогда и только тогда, когда)

A/B — A при условии, что верно B

\triangleq — равно по определению

\mathbf{D} — оператор дифференцирования $\left(\mathbf{D}x(t) \triangleq \frac{d}{dt} x(t) \right)$

ξ — оператор сдвига на такт $(\xi x[k] \triangleq x[k+1])$

$\mathcal{P}\{\cdot\}$ — оператор преобразования Лапласа (см. приложение I)

$\mathcal{Z}\{\cdot\}$ — оператор \mathcal{Z} -преобразования (см. приложение I)

$h(t)$ — весовая функция

$H(\mathbf{D})$ — передаточная функция

$\mathbf{1}(t)$ — функция Хевисайда

$\delta(t)$ — δ -функция Дирака

p — индекс разомкнутого контура

z — индекс замкнутого контура

f — индекс обратной связи

$P\{A\}$ — вероятность события A

$M\{x\}$ — символ математического ожидания случайной величины x

$D\{x\}$ — символ дисперсии случайной величины x

$o(\mu)$ — величина меньшего порядка, чем μ $\left(\lim_{\mu \rightarrow 0} \frac{o(\mu)}{\mu} = 0 \right)$

$O(\mu)$ — величина порядка μ $\left(0 < \lim_{\mu \rightarrow 0} |O(\mu)/\mu| \leq \lim_{\mu \rightarrow 0} |O(\mu)/\mu| < \infty \right)$

∇ — градиент

$\deg \alpha(p)$ — степень полинома $\alpha(p)$

Обозначения, относящиеся к матрицам, описаны в Приложении II.

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

§ 1. Цели и принципы управления

Управление состоит в том, чтобы, оказывая на какой-либо объект воздействие, изменять протекающие в нем процессы для достижения определенной цели. Управление является автоматическим, если оно осуществляется без вмешательства человека с помощью специальных технических устройств. Разработка общих принципов создания этих устройств и является основной задачей теории автоматического управления. Теория должна давать единую базу для решения задач управления объектами различной физической, химической или биологической природы. Перечислим некоторые типичные классы технических задач.

а. *Управление движением механических объектов.* Управляемыми являются процессы изменения некоторых координат и скоростей, а управляющими воздействиями являются внешние силы *). Цель управления обычно формулируется через задание желаемых значений координат и скоростей в определенные моменты времени или на определенных участках траектории.

б. *Управление электротехническими (или электронными) объектами,* где управляемыми являются процессы изменения напряжений, токов, мощностей, а управляющими воздействиями являются внешние электродвижущие силы (ЭДС) или токи от внешних источников, или сопротивления, емкости, индуктивности элементов с варьируемыми характеристиками. Целью управления может быть, например, обеспечение постоянства напряжения между различными узлами системы или достижение максимальной мощности, выделяемой на определенном элементе.

в. *Управление теплотехническими объектами.* Управляемыми являются процессы изменения температур в различных точках объекта, а воздействие осуществляется путем подвода тепловой энергии. Цель управления может состоять в желании поддерживать некоторое распределение температур или не допускать превышения температурой некоторого предельного уровня.

*) Координаты, скорости и силы могут пониматься в обобщенном смысле теоретической механики,

г. *Управление химической или биологической технологией.* Здесь управляемым является как изменение температур, так и изменение концентраций различных веществ. Управляющими воздействиями являются изменения подхода энергии (топлива, освещения) или вещества, а целью — обеспечение желаемого количества выходного продукта (желаемой продуктивности) или (и) постоянства его качественных физико-химических характеристик.

Эти проблемы зачастую переплетаются, поскольку объекты современной техники, как, например, системы энергообеспечения, являются сложными системами, в которых взаимодействуют и механические, и электромагнитные, и термодинамические, и химические процессы. Однако, несмотря на разнообразие технических проблем, существуют общие подходы, общие принципы создания систем управления.

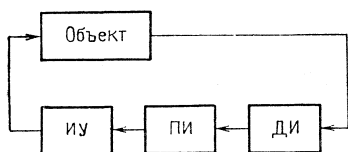


Рис. 1.1

В соответствии с ними любая система управления строится на основе трех функциональных блоков (рис. 1.1). Первый блок состоит из устройств, позволяющих получать информацию о текущих значениях

управляемых процессов (или других процессов в объекте, связанных с управляемыми). Этот блок называют измерительным или блоком датчиков информации (ДИ)*). В ходе функционирования этого блока выдаются *информационные сигналы*. Эти сигналы поступают во 2-й блок, блок преобразования и хранения информации (ПИ), где на их основе, а также на основе заранее заложенных сведений (априорной информации) вырабатываются *сигналы управления*. Правило (алгоритм) преобразования информационных сигналов в сигналы управления называется *законом управления*. Сигнал управления показывает, каким должно быть управляющее воздействие в текущий момент времени. Чтобы выработать это воздействие, превратить сигнал в механическое усилие или поток тепла, или поток вещества, требуется еще один блок — исполнительное устройство (ИУ).

Как видно из рис. 1.1, совокупность перечисленных блоков образует замкнутый контур, охватывающий объект управления. Поэтому систему, где присутствуют все эти блоки, часто называют *замкнутой системой*, или *системой управления с обратной связью* от управляемых процессов к управляющим воздействиям. Иногда, однако, используются и более простые *разомкнутые системы*, где отсутствуют датчики информации, а функции преобразователя информации сводятся лишь к хранению и выдаче выработанной про-

*) Иногда употребляются и другие термины: блок чувствительных элементов, блок сенсоров.

граммы управления с требуемыми в каждый момент времени значениями сигнала управления.

Таким образом, в системе управления можно выделить *информационную* часть, осуществляющую получение, хранение, обработку и выдачу информации, и *энергетическую (силовую)* часть, служащую для преобразования информации (сигнала управления) в управляющее воздействие на объект.

§ 2. Сведения о технических средствах

Описанные функциональные блоки реализуются с помощью различных *технических средств автоматики*. Детальное изучение их конструкций служит предметом специального курса. Однако понимание задач общей теории автоматического управления невозможно без четкого представления об основных особенностях этих средств, тем более что в настоящее время намечается тенденция к их унификации. В них в качестве информации выступают электрические сигналы, причем информация содержится либо в текущих значениях напряжения (сигналы аналогового типа), либо в виде кодированных последовательностей импульсов (сигналы цифрового или кодированного типа).

В соответствии с этим датчики информации являются преобразователями значений различных физических процессов в электрические сигналы, преобразование и хранение информации осуществляется с помощью электронных вычислительных устройств аналогового или цифрового типа, исполнительные устройства управляют опять-таки с помощью электрических сигналов, поступающих из блока ПИ.

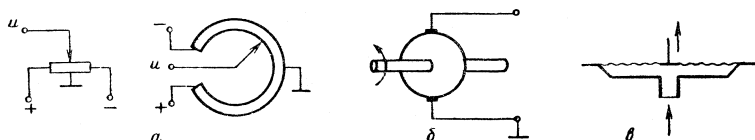


Рис. 1.2

Приведем некоторые примеры *датчиков* [1.1].

а. *Датчик относительного перемещения (измерительный потенциометр)* (рис. 1.2, а). Напряжение u , снимаемое движком потенциометра, пропорционально перемещению движка относительно средней точки. Если связать движок с одним из тел, а корпус с другим, то получим датчик их относительного поступательного перемещения. С помощью кругового потенциометра аналогичным образом можно получить электрический сигнал, пропорциональный относительному углу поворота.

б. *Датчик угловой скорости (тахогенератор)* (рис. 1.2, б). Э. д. с., вырабатываемая генератором постоянного тока с независимым возбуждением или постоянными магнитами, пропорциональна угловой скорости вращения ротора. Если ротор генератора связан с вращающимся телом, то генератор является датчиком угловой скорости тела.

в. *Датчик давления (измерительная мембрана)*. Прогиб мембраны (рис. 1.2, в) пропорционален давлению газа, действующему на ее поверхность. Таким образом, мембрана является преобразователем «давление-перемещение». Однако перемещение, как уже указывалось, можно преобразовать в напряжение электрического сигнала.

г. *Датчик температуры (термопара)*. Действие этого датчика основано на свойстве разнородных проводников или полупроводников образовывать в паре (спае) электродвижущую силу, зависящую от температуры спаев.

Перечень датчиков можно было бы продолжать практически неограниченно, поскольку разработаны и непрерывно разрабатываются устройства для измерения различного рода процессов, основанные в свою очередь на различных физических принципах и имеющие разную сложность, стоимость, габариты. При этом в зависимости от диапазона возможного изменения одной и той же физической величины могут применяться совершенно несходные устройства, например, для измерения перемещений порядка 10^{-2} м — уже упомянутые потенциометры, а при порядке более 10^2 м — радиолокационные дальнометры, используемые, в частности, в системах управления полетом.

В дальнейшем будем называть датчик *идеальным*, если вырабатываемый им сигнал пропорционален измеряемой величине. Существование, что все реальные датчики являются в той или иной степени *неидеальными*. В частности, всегда возможны малые ошибки, проявляющиеся в виде добавочных, «паразитных», сигналов. Более того, пропорциональность заведомо сохраняется только в определенном диапазоне изменения, зависящем от конструкции датчика (это очевидно даже из представленной выше схемы измерительного потенциометра). Наконец пропорциональность может нарушаться при быстрых изменениях измеряемого процесса — в силу *инерционности* датчика. Например, спай термопары обычно защищается покрытием (чехлом). Это покрытие не может прогреться (или охладиться) мгновенно при резком изменении измеряемой температуры газовой среды, так что тепловая инерция покрытия искажает показания датчика. В дальнейшем будет продемонстрировано, насколько неизбежная неидеальность датчиков информации влияет на эффективность систем управления.

Кратко остановимся на средствах преобразования и хранения информации, т. е. технической реализации блока ПИ. Наиболее мощным средством являются управляющие цифровые *электронные*

вычислительные машины (ЭВМ). Общие принципы действия ЭВМ хорошо известны (см., например, [1.7]). Подчеркнем лишь, что использование ЭВМ в качестве блока системы автоматического управления влечет за собой определенные особенности ввода и вывода информации. В отличие от неавтоматических (человеко-машинных) систем информация не должна представляться в визуальной форме*), например, в виде распечатки на бумажной ленте или графика на графопостроителе. Как правило, ввод текущей информации, поступающей от ДИ, осуществляется следующим образом: аналоговые электрические сигналы масштабируются с помощью усилителей к требуемому диапазону, далее преобразуются с помощью устройств «аналог — цифра» (АЦП) в кодированную последовательность импульсов, вводимую в память ЭВМ. Результат переработки информации по заложенным в ЭВМ программам в виде цифрового кода поступает на преобразователь «цифра — аналог» (ЦАП), на выходе которого возникает аналоговый сигнал соответствующего напряжения.

Для дальнейшего существенно, что цифровая ЭВМ фактически оперирует не с непрерывно поступающей информацией, а с периодической выборкой, иначе говоря, с последовательностями измеряемых величин. Отметим также, что при преобразованиях в АЦП возможны дополнительные ошибки, связанные с округлением, хотя они, как правило, малы по сравнению с ошибками датчиков.

В настоящее время использование цифровых ЭВМ ограничено достаточно сложными и дорогостоящими системами управления, в частности, системами управления крупными судами и летательными аппаратами, хотя общая тенденция технического развития свидетельствует о возможности их все большего распространения.

Широко применяются аналоговые вычислительные устройства, представляющие собой схемы, включающие электронные усилители и RC -цепи. Основная идея построения таких схем проста. С помощью делителей или усилителей возможно осуществить операцию умножения входного напряжения на постоянный коэффициент, с помощью емкостных элементов возможно осуществлять операцию интегрирования данных, поскольку напряжение на емкости пропорционально интегралу от протекающего тока. Сочетание таких элементов позволяет создавать устройства, практически мгновенно производящие алгебраические и интегральные преобразования поступающих сигналов. Эти устройства иногда полностью разрабатываются специально для реализации требуемого закона управления, а иногда строятся на базе стандартных так называемых операционных усилителей, входящих в состав *аналоговых вычислительных машин* (АВМ)**). Аналоговые вычислители проще и пока дешевле

*) Это, конечно, не исключено и, более того, даже необходимо в ходе наладки системы.

**) Принципы функционирования АВМ тесно связаны с теорией управления и кратко излагаются ниже (гл. 2).

цифровых. Хотя возможности преобразования и в особенности хранения информации в них ограничены, их, как правило, достаточно для реализации наиболее часто используемых законов управления.

Кратко остановимся на средствах реализации блока исполнительных устройств. Из ПИ в него поступает сигнал управления. Это электрический сигнал с низким уровнем мощности. Поэтому ИУ должно реализовать две функции: во-первых, повысить уровень мощности, быть *усилителем мощности*, а во-вторых, *преобразовать* электрический ток в управляющее воздействие требуемого типа, например, механическое усилие или расход вещества.

Наиболее распространенным ИУ являются электрические двигатели (см., например, [1.4]), на которые управляющий сигнал подается через усилители мощности (УМ) (электронные, магнитные, электромашинные). Простейший электродвигатель — электромагнит, якорь которого перемещается в поле, создаваемом током в обмотке (рис. 1.3). Во вращающихся электродвигателях момент, действующий на ротор двигателя, создается за счет взаимодействия токов в обмотках, уложенных на роторе и статоре. В частности,

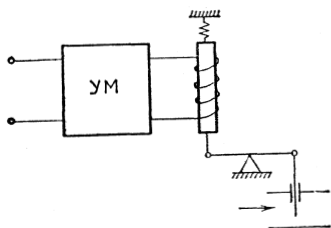


Рис. 1.3

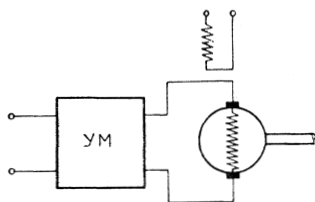


Рис. 1.4

в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением, используемом во многих системах управления, ток в роторную (якорную) обмотку подается от усилителя мощности, а ток в обмотку статора подается от внешнего источника постоянного напряжения (рис. 1.4). Всякий электродвигатель является, по существу, преобразователем «электрический ток — механическое усилие» и поэтому может быть непосредственно использован в качестве ИУ в системах управления движением механических объектов. Вместе с тем он может быть применен и в других системах. Если, например, кинематически связать двигатель с заслонкой (вентилем), изменение положения которого меняет расход вещества, поступающего к объекту (рис. 1.3), то создается ИУ для управления расходом с помощью электрического сигнала. Таким же способом может управляться подача тепловой энергии, если вентиль дозирует подачу топлива.

Наряду с электродвигателями в системах управления используются и иные, в особенности гидравлические и пневматические. Для

них входным управляющим сигналом является перемещение заслонки, открывающей или закрывающей доступ рабочего тела (сжатой жидкости или газа) к движущемуся поршню*). Управляющий сигнал такого рода может поступать либо непосредственно от датчика (см. выше, пример измерительной мембраны), либо быть результатом преобразования электрического сигнала с помощью двигателя, перемещающего заслонку. Для дальнейшего теоретического изложения важно понимать, что несмотря на разнообразие возможных технических реализаций любые ИУ обладают следующими принципиальными особенностями:

1) они используют энергию от внешних источников (блоки питания электрических усилителей, напорные установки гидравлических двигателей и т. д.);

2) возможный уровень управляющего воздействия ограничен конструкцией ИУ.

Таким образом, мы кратко обрисовали типовую техническую базу реализации основных функциональных блоков систем автоматического управления (САУ).

§ 3. Примеры систем автоматического управления

Дадим схематическое описание двух типичных САУ.

Пример 1. *Электромеханическая следящая система (ЭСС)* [1.3, 1.6]. Объектом управления является вращающийся вал (рис. 1.5), нагруженный внешним моментом. Целью управления является обеспечение поворота вала на угол, близкий к углу поворота задающей оси, который может меняться заранее непредвиденным образом. При этом не допускается, чтобы на возможность поворота задающей оси существенно влияло наличие момента, противодействующего повороту вала (в противном случае можно было бы просто связать задающую ось с валом кинематической связью).

Для решения задачи управления строится автоматическая система с обратной связью. Электродвигатель передает на вал через редуктор управляющее воздействие — вращающий момент. Угол поворота вала измеряется с помощью датчика, вырабатывающего пропорциональное ему напряжение. Другой датчик**) вырабатывает напряжение,

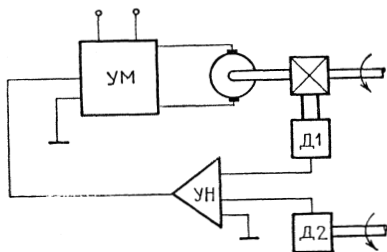


Рис. 1.5

*) Несколько более подробное описание гидравлического двигателя (сервомотора) дано в гл. 4 § 5.

**) Зачастую используется только один датчик, непосредственно вырабатывающий напряжение, пропорциональное разности углов поворота вала и задающей оси (относительному углу поворота).

пропорциональное углу поворота задающей оси. Разность между этими напряжениями характеризует ошибку управления, т. е. несоответствие между углами поворота вала и задающей оси. Она усиливается по уровню и подается через усилитель мощности на исполнительный двигатель. Функционирование системы построено на простом принципе управления с *обратной связью по ошибке*: если ошибка положительна (угол поворота оси больше угла поворота вала), то к валу прикладывается момент, ускоряющий его вращение в необходимую сторону, и вал начинает «догонять» задающую ось; если ошибка отрицательна, то к валу прикладывается момент противоположного знака, и вал тормозится.

В описанной простейшей схеме функции вычислительного устройства сводятся к вычитанию сигналов двух датчиков и умножению разности на постоянный коэффициент — коэффициент усиления усилителя напряжения. Как мы убедимся в дальнейшем (гл. 3, § 7), для обеспечения высокого качества управления (малости ошибки) приходится усложнять эти функции, однако, как правило, закон управления остается таким, что он легко реализуется с помощью простых аналоговых ВУ. □

Пример 2. Управление движением промышленного робота [1.2, 1.5]. Промышленный робот можно рассматривать как систему, состоящую из манипуляционного механизма и блоков управления. Манипуляционный механизм представляет собой конструкцию, предназначенную для перемещения и ориентации схвата или инструмента в любую точку

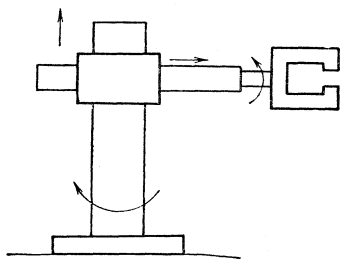


Рис. 1.6

рабочей зоны. На рис. 1.6 схематически представлена одна из возможных компоновок механизма, обеспечивающая перемещение внутри цилиндрической рабочей зоны. С помощью двигателей можно поворачивать вертикальную колонну, поднимать или опускать каретку с балкой — «рукой робота», выдвигать или втягивать «руку», осуществлять поворот схвата.

В отличие от предшествующего примера здесь мы сталкиваемся с задачей управления сложным пространственным движением, причем это движение должно определиться перемещением (поступательным или вращательным) звеньев механизма относительно друг друга и неподвижного основания. Отсюда вытекает необходимость и целесообразность более сложной (и в принципиальном, и в техническом отношении) системы управления, использующей в качестве блока ПИ управляющую цифровую ЭВМ. Общую схему функционирования системы можно описать следующим образом. От оптических датчиков (системы «технического зрения робота») поступает информация о координатах и ориентации детали, которая

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru