

И. Б. Челпанов

Устройство промышленных роботов



УЧЕБНИК ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ И КОЛЛЕДЖЕЙ



И. Б. Челпанов

Устройство промышленных роботов

Издание 2-е, переработанное и дополненное



**ПОЛИТЕХНИКА
ИЗДАТЕЛЬСТВО**
Санкт-Петербург 2008



Федеральная программа книгоиздания России

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

кафедра прикладной механики МГУ (академик А. Ю. Ивлевский)
и доктор физико-математических наук профессор Ю. Г. Мартыненко

Ч40 Челпанов И. Б.

Устройство промышленных роботов: Учебник для учащихся
приборостроительных техникумов. — 2-е изд., перераб. и
доп. — СПб.: Политехника, 2001. — 203 с.: ил.

ISBN 5-7325-0562-8

Приведены классификация и схемы промышленных роботов различного назначения. Представлены технические характеристики и конструктивные схемы роботов и их составных частей. Рассмотрены вопросы применения промышленных роботов, даны примеры использования роботов в конкретных производствах.

УДК 621.865.8(075.3)
ББК 32.965я7

ISBN 5-7325-0562-8

© И. Б. Челпанов, 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник построен с ориентацией на учебные предметы, в которых промышленный робот фигурирует преимущественно как единое изделие, как автоматическая машина определенного функционального назначения и с определенными техническими характеристиками. Наряду с этим дается представление об отдельных устройствах промышленного робота, об использовании роботов в производственных системах.

В данном учебнике ставятся и решаются следующие конкретные задачи:

систематизировать сведения о типах промышленных роботов в соответствии с их назначением, показать разнообразие этих типов; обосновать выбор кинематических схем и компоновочных решений манипуляторов по совокупностям технических требований; дать представление о конструктивном выполнении манипуляторов в целом, их основных механизмов и узлов;

изложить и проиллюстрировать принципы модульного построения промышленных роботов;

систематизировать сведения о рабочих органах (технологических и захватных устройствах);

осветить новые вопросы стандартизации в робототехнике, техники безопасности, испытаний и аттестации промышленных роботов; описать типовые применения промышленных роботов в различных производственных системах.

Некоторые вопросы освещаются кратко. В частности, сообщаются только общие сведения о программном управлении (об устройствах управления, элементах систем управления, о программировании движений). Этим вопросам посвящаются отдельные курсы. Основное внимание уделяется механике, потому что промышленные роботы представляют собой автоматические машины, именно машины, а не программируемые вычислительные устройства. Поэтому в первую очередь нужно знать материальную часть, конструкцию. К сожалению, в немногих книгах по робототехнике механике уделяется необходимое внимание.

Предлагаемый учебник снабжен большим количеством иллюстраций. Предпочтение отдается легко читаемым кинематическим и конструктивным схемам. Практически не затрагиваются вопросы расчета промышленных роботов и их составных частей, для освоения навыков таких расчетов требуется более солидная математическая подготовка, чем для машиностроительных специальностей. Во всех главах, где рассматриваются реальные конструкции, приводятся не только паспортные данные, но и более подробные сведения, а также результаты статистической обработки.

Автор надеется, что учебник, выходящий вторым изданием, позволит учащимся быстро войти в круг основных задач робототех-

ники и наилучшим образом подготовиться к усвоению предметов более узкой направленности в этой области.

Со времени выхода 1-го издания данного учебника прошло десять лет. За эти годы в народном хозяйстве России произошли значительные перемены. Потребности в современном автоматическом и автоматизированном оборудовании остались, но они значительно трансформировались и перераспределились. На первый план вышли отрасли, для которых характерны быстрая оборачиваемость капитала и высокие нормы прибыли, и по преимуществу именно для них создается автоматическое оборудование. Очень многие предприятия отказались от самостоятельного проектирования и изготовления сложного оборудования и комплектующих и приобретают за рубежом автоматические линии или участки, полностью укомплектованные, или самостоятельно компонуют их из модулей производства ведущих зарубежных фирм. В любом случае промышленные роботы как занимали, так и занимают определенные ниши. При этом получение сведений о роботах значительно осложнилось. Сводные каталоги промышленных роботов, изготавливаемых в нашей стране и за рубежом, не издаются с середины 1980-х годов, зарубежные монографии и периодическая литература в библиотеки практически не поступают, относительно доступными являются лишь каталоги ведущих зарубежных фирм.

Типаж роботов претерпел за последнее десятилетие существенные изменения. Число моделей роботов, квалифицируемых как универсальные, значительно сократилось, подавляющее число роботов прецизируют как специальные и специализированные и изготовляют под определенные группы задач. Так, достаточно широко распространены роботы-штабелеры, обслуживающие автоматические и автоматизированные склады, в автомобильной промышленности многие годы применяются роботы, осуществляющие точечную сварку. Значительно расширился типаж манипуляторов с ручным управлением, они широко применяются не только в машиностроении, но и в строительной индустрии. Роботы и манипуляторы, предназначенные для работы в экстремальных условиях, в которых человек не может работать, по-прежнему находят применение в своих областях. Так, манипуляторы по-прежнему остаются незаменимыми при выполнении вредных и опасных операций в атомной энергетике и в химическом производстве. Так же разрабатываются роботы, предназначенные для работы в космосе, на космических станциях, на поверхностях Луны и планет. Актуальными являются задачи совершенствования подводных роботов, оснащенных манипуляторами и способных проводить обследование затонувших судов и производить на них некоторые работы. Выявилась необходимость производства роботов-антитеррористов для поиска и уничтожения взрывоопасных предметов, роботов для поиска источников радиоактивности и ликвидации последствий радиоактивного или химического заражения. В настоящее время

возник определенный интерес к разработке демонстрационных роботов, не предназначенных для выполнения каких-либо производственных функций. Необходимо также учитывать и некоторые перспективные разработки, не нашедшие пока практического применения, но, несомненно, имеющие будущее.

В той или иной степени это нашло отражение в материалах, которые включены во 2-е издание учебника.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ
И СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА§ 1.1. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ
В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

Основное назначение промышленных роботов (ПР) состоит в замене рабочих на тяжелых, утомительных, монотонных операциях, а также в условиях, вредных и опасных для человека. Общеизвестно, что ПР являются одним из наиболее эффективных средств механизации и автоматизации различных производств. Объяснить популярно, что собой представляет обычный ПР, излишне. Сами по себе и в составе производственных комплексов ПР время от времени появляются на экранах телевизоров, на страницах газет и журналов, о них печатают статьи, сообщения и заметки. Чаще всего ПР появляется как механическая рука, переносщая заготовки при обслуживании станка или пресса. При этом в первую очередь обращает на себя внимание сходство ПР с рукой человека как по виду выполняемых движений, так и по темпу работы. Нередко ПР повышает производительность при замене рабочего на участке или линии, но редко это повышение велико, а иногда и вообще не имеет места. Существуют средства автоматизации и механизации, обеспечивающие значительно большее повышение производительности, но эти средства, как правило, являются узкоспециализированными. Специфика ПР заключается в простоте перестройки, переналадки при изменении заданий на вид и последовательность выполнения отдельных движений, на положение точек (начальных и конечных) и траекторий движений в целом, на зависимость движений от поступающих сигналов. Поэтому ПР может приспосабливаться к изменениям (в заданных пределах) номенклатуры изделий, к различному оборудованию и различным дополнительным требованиям. Если даже ПР являются обслуживающими, они создаются как самостоятельные автоматические машины.

Возможность и целесообразность применения ПР определяют в первую очередь серийность производства и номенклатурой изделий. Применение ПР эффективно при использовании в мелко- и среднесерийном производстве, когда партии невелики и требуются относительно частые переходы с одного изделия на другое. Однако в настоящее время ПР применяются также в крупносерийном производстве, если необходимо совершать достаточно сложные движения или переносить изделия на достаточно большие расстояния (порядка 1–3 м). Требуется выполнения сложных движений важно в первую очередь для технологических ПР, предназначенных для технологических операций сварки, нанесения

покрытий, шлифования (обработки шлифовальным кругом с целью снижения шероховатости) и т. п. Функционально такие ПР близки к станкам или технологическим установкам, но отличаются от них в первую очередь способностью далеко выносить рабочий орган и ориентировать его заданным образом, что важно для работы с крупными изделиями.

Области применения ПР можно определять по отраслям и по характеру выполняемых функций. Чаще всего ПР применяется в машиностроении (в частности, в автомобильной, станкостроительной, электротехнической промышленности), в приборостроении, электронной промышленности, цветной металлургии, а также в легкой, пищевой, химической и горнодобывающей промышленности. Отметим, что работы, выполняющие функции руки человека (их общее название — манипуляционные роботы), проектируются и изготавливаются для работы в космосе, океане, строительстве, сельском хозяйстве. Они не являются промышленными роботами, но часто конструктивно близки к ПР и в книгах упоминаются наряду с ними.

По выполняемым функциям ПР делятся на две большие группы: *вспомогательные (обслуживающие)* и *технологические*. *Вспомогательные* ПР предназначаются для переноса заготовок, деталей, изделий, инструмента, узлов оборудования, а также для сыпучих или жидких материалов. Обычно для них задача формулируется так: взять — перенести — установить на заданное место. *Вспомогательные* ПР обычно наиболее просты по схеме, устройству управления, конструкции манипулятора, поэтому наиболее дешевы. *Технологические* ПР специализированы по типу операций. Так, наиболее распространенными являются ПР, предназначенные для сварки (точечной или швовой), механической обработки (шлифования, полирования, сверления), окраски и нанесения покрытий, обдува, пескоструйной и дробеструйной обработки, сборки, контроля и измерения. Для большинства технологических ПР требуется, чтобы рабочий орган перемещался по заданной траектории с заданной скоростью при заданной ориентации. Поэтому приводы и устройства управления у таких технологических ПР гораздо сложнее, чем у вспомогательных ПР, и намного дороже.

При зарождении робототехники многие предполагали, что прогресс пойдет исключительно по пути замены более простых ПР более сложными, имеющими более совершенные устройства управления. Так, считали, что ПР с жесткопрограммным управлением, при котором последовательность этапов движений однозначно задается программой, будут применяться только на первом этапе; такие ПР условно относили к первому поколению. После этого должны были прийти адаптивные ПР, автоматически приспосабливающиеся к возможным изменениям условий работы (ПР второго поколения). Им на смену должны были прийти интеллектуальные ПР (ПР третьего поколения). Однако на практике получилось иначе. Теперь, как и десять лет тому назад,

большинство ПР имеют обычное программное управление. Они совершенствуются, становятся более надежными и дешевыми, но выполняют столь же простые задания: взять — перенести — установить. Этого вполне достаточно для обслуживания станков, пресов, печей и другого оборудования. Обновляется элементная база устройств управления, осуществляется их унификация, но функциональные возможности меняются мало. Адаптивные ПР используются для выполнения технологических операций, в которых это принципиально необходимо (шовная сварка, шлифование, сборка).

Теория интеллектуальных ПР интенсивно и успешно разрабатывается, но сами интеллектуальные ПР существуют лишь в экспериментальных экземплярах.

Интересно проанализировать сведения о динамике роботостроения, состоянии и численности парков ПР во всем мире и в нашей стране. Наиболее полные сведения по годам и странам в этой области дает Реферативный журнал (Серия 37. Промышленные роботы и манипуляторы), по нашей стране систематические сведения за последние десятилетия найти трудно, значительная часть приведенных ниже данных заимствована из самого нового обзора [4] авторитетного специалиста в данной области П. Н. Белинина. В СССР наиболее высокие темпы роста продукции роботостроения приходится на вторую половину 1970-х — первую половину 1980-х годов. Тогда в ежегодных отчетах Центрального статистического управления сведения о производстве роботов приводились отдельной строкой, темпы прироста выпуска ПР были выше, чем для любой продукции машиностроения. К 1985 г. парк ПР в СССР составлял много десятков тысяч штук (по разным оценкам, от 50 до 150 тыс. экз.), в 1986 г. головной выпуск ПР составлял 12 тыс. и был выше, чем в любой из западных стран (например, тогда в Японии головной выпуск составлял 10 тыс., а в США — 6 тыс.). Прогнозировалось, что к 2000 г. во всем мире будет около 900 тыс. роботов, из них половина — в СССР.

Однако внедрение ПР сильно отставало от их выпуска, спрос на них падал, вследствие чего в последующие годы их стали выпускать меньше: в 1989 г. — менее 5 тыс., в 1990 г. — менее 2 тыс. Полагают, что, начиная с 1991 — 92 гг., в связи с всеобщим развалом народного хозяйства роботы в нашей стране вообще перестали выпускать. Но в ведущих странах роботостроение продолжало интенсивно развиваться, темпы прироста годового выпуска в среднем были не ниже 15 %, к концу 1995 г. мировой парк роботов превышал 650 тыс. [4], а к 2000 г. превысил 1 млн. Таким образом, прогнозные показатели середины 1980-х годов на конец тысячелетия оказались перекрытыми, притом без участия России.

Распределение ПР по странам и отраслям промышленности отличается неравномерностью. В настоящее время больше всего роботов производится и работает в Японии (предполагается, что в самое ближайшее время парк ПР там превысит 500 тыс.); основ-

ными потребителями роботов являются электротехническая и электронная промышленность. В США численность парка ПР оценивается всего в 100 тыс. Во всем мире лидером по применению ПР является автомобильная промышленность, причем чаще всего они используются на операциях точечной сварки кузовов.

Важным показателем уровня внедрения роботов на производстве является их число, приходящееся на 10 тыс. рабочих. По этому показателю в автомобильной промышленности также лидирует Япония (800), далее следуют Италия (400), США (300). Опыт двух десятилетий показал, что в отдельных отраслях промышленные роботы заняли прочные позиции, в настоящее время они уже незаменимы и автоматизированное производство без них не мыслится. В России перспективы роботостроения неясны, однако по мере становления промышленности, сначала хотя бы при закупке технологических комплексов различного назначения, в первую очередь, автоматических линий, наряду с другим оборудованием на производствах появляются и промышленные роботы. Можно надеяться на то, что при возрождении отечественного машиностроения достойное место в нем займет и роботостроение.

Прогресс в робототехнике заключается не только в увеличении выпуска ПР, но и в расширении типажа за счет внедрения во все большее число областей народного хозяйства и вообще человеческой деятельности. Степень внедрения в разные области бывает самой различной: технические предложения, предварительные разработки на уровне эскизных проектов, действующие экспериментальные образцы, серийно выпускаемые роботы. Области применения далеко выходят за рамки промышленности, поэтому многие роботы уже нельзя называть промышленными. Ранее роботам непромышленного применения посвящались другие книги, так, известны монографии, посвященные подводным роботам, роботам космического применения и т. д. Теперь такое обязательное разделение представляется нерациональным, поскольку нередко над роботами различного назначения работают одни и те же коллективы, в самых разных областях используются сходные идеи, много общего имеют конструктивное решение и принципы управления. К сожалению, на русском языке отсутствуют монографии с требуемым широким охватом проблематики использования роботов. В случае необходимости приходится рассчитывать на самостоятельный поиск литературы через Интернет или при поездках за рубеж.

Поскольку подавляющее большинство литературных источников, доступных хотя бы для немногих российских специалистов, издано на английском языке, необходимо знать, по крайней мере, минимум терминов, относящихся к сферам применения роботов и к выполняемым ими функциям. Ниже с краткими комментариями приведен перечень нескольких десятков таких терминов, взятых из работы [15]. Они разделены на группы и подгруппы.

1. Роботы, предназначенные для работы в промышленности.

Общее их название — промышленные роботы (ПР) — industrial robots (часто используемая аббревиатура IR).

1.1. ПР, предназначенные для обслуживания (вспомогательные ПР):

- робот для погрузки-разгрузочных работ — loading (loading-unloading, feeding) robot;
- робот для складских работ — warehouse robot;
- робот-штабелер — piling (stacking) robot;
- робот для транспортировки — tractor robot.

Ранее ПР этой подгруппы были наиболее многочисленными как по общей численности, так и по числу моделей, поскольку по устройству они были наиболее простыми, дешевыми, к ним не предъявлялись высокие требования и было проще всего наладить их выпуск. Во всех каталогах они составляли большинство.

1.2. ПР, предназначенные для выполнения технологических операций в машиностроении:

- робот для чертежных работ — drawing robot;
- робот для разметки — marking robot;
- полировальный или шлифовальный робот — burnishing (grinding) robot;

- робот для строгальных работ — chipping robot;
- робот для выполнения сверлильных работ — drilling robot;
- робот для сварки — welding robot (обычная аббревиатура WR);
- робот для дуговой сварки — arc-welding robot;
- робот для точечной сварки — spot-welding robot;
- сварочный робот с автоматическим слежением за швом — seam-tracking robot;

- робот для литейного производства — casting (foundry) robot;
- робот для формирования формовочных операций — forming robot;
- робот для окраски с распылением — spray-painting robot;
- робот для литья в формы — molding robot;
- робот для обслуживания машин для литья под давлением — injection-molding robot;

- робот для удаления заусенцев — deburring robot;
- робот для клепальных операций — riveting robot;
- робот-кузнec (кузнечный робот) — smithing (forging) robot;
- сборочный робот — assembly (mounting) robot;
- робот для очистки поверхностей — part-cleaning robot;
- окрасочный робот — painting robot;
- робот для нанесения покрытий — coating robot;
- робот для клеймения или штамповки — stamping robot;
- робот для упаковки (расфасовки) — bagging (packaging, packing, baling, filling) robot;
- робот для столярных работ — joinery robot;
- робот для нанесения клея и склеивания — glueing robot.

Технологические роботы по механике и по системам управления, как правило, сложнее вспомогательных ПР, их проектиро-

вание требует хорошего знания специфики требований и условий эксплуатации. Сборочные роботы представляют особый интерес вследствие того, что именно сборочные операции в различных отраслях составляют десятки процентов общей трудоемкости изготовления машин или приборов. Ввиду большого разнообразия сборочных операций создавать универсально-сборочные ПР практически невозможно, большим разнообразием моделей отличается и парк сборочных ПР. В целом же, как видно из перечня, технологические ПР, работающие в машиностроении, как правило, являются узко специализированными. Некоторые виды ПР (например, для точечной сварки, для нанесения покрытий и окраски, для литейного производства) появились еще в 1970-х годах, другие (например, для механообработки) имеют много общего со станками, и при их создании активно используется опыт, накопленный в станкостроении. Некоторые из видов ПР (например, для разметки) пока находятся на стадиях отработки экспериментальных образцов. ПР последних двух видов лишь условно отнесены к машиностроению ввиду функциональной близости к другим из перечисленных выше видов.

1.3. ПР, предназначенные для выполнения технологических операций, типичных для электротехники и электроники:

- робот для сборки печатных плат (установки электронных компонентов) — component-inserting robot;
- сборочный робот для установки деталей — insertion robot;
- робот для пайки — soldering robot;
- робот для обслуживания гальванических ванн — plating robot;
- робот для прокладки кабелей или жгутов — cabling robot.

В данной группе наиболее сложными и совершенными являются ПР, предназначенные для сборки печатных плат, а именно, для установки электронных компонентов на платы, припайкивания или приваривания выводов. Такие роботы являются самыми точными из всех ПР. Операции прокладки кабелей и жгутов, наоборот, не требуют точности, но они являются исключительно «неудобными» для автоматизации, поэтому такие роботы применяются лишь в тех случаях, когда не нужно приспособляться к сложным конфигурациям трассировки.

1.4. ПР, предназначенные для контроля и обслуживания технических объектов:

- измерительный робот — measuring robot;
- робот-контролер — checking (inspection) robot;
- робот для испытаний — testing robot;
- робот для диагностики — diagnosis robot;
- робот-сортировщик — sorting robot;
- робот для маркировки — labelling robot;
- робот для смазки — lubricating robot;
- робот для ремонта и (или) технического обслуживания — maintenance robot.

Из ПР этой группы наибольшее распространение получили контрольные и измерительные, они функционально близки контрольным автоматам и автоматизированным средствам измерений (в частности, координатно-измерительным машинам), но по конструкциям обычно сильно отличаются от них.

2. *Роботы, предназначенные для выполнения различных технологических операций в строительстве и в горных работах:*

- робот для строительных работ — construction robot;
- робот-каменщик — masonry robot;
- робот для производства бетонных работ — concreting robot;
- робот для производства отделочных работ — finishing robot;
- робот-шахтер — mining robot;
- робот для горнопроходческих работ — winning robot.

Вопрос о том, относятся ли перечисленные роботы к промышленным, остается неясным. Специфика этой группы роботов заключается в тяжелых условиях работы, в необходимости приспособляться к изменяющимся условиям. Пока роботы этой группы проигрывают в конкуренции средствам механизации, облегчающим условия труда рабочим, но не заменяющим их.

3. *Роботы, предназначенные для работы в области медицины и здравоохранения:*

- медицинский робот — medical robot;
- робот-хирург — surgery robot;
- робот для дозирования — metering robot;
- робот-микроманипулятор — microhandler robot.

Приведенный список невелик, на самом деле в медицине и здравоохранении очень широкое поле деятельности. Однако здесь очень жесткими являются требования безопасности. Поэтому в большинстве случаев предусматривается не самостоятельное выполнение роботами своих функций, а лишь помощь специалисту. В частности, нельзя представить себе, что робот-хирург будет самостоятельно проводить операции, но он может в определенных случаях играть роль ассистента, выдавая инструмент или фиксируя его положение, контролировать состояние оперируемого по многим параметрам и т. п.

4. *Роботы, предназначенные для работы в экстремальных условиях:*

- космический робот — space robot (обычная аббревиатура SR);
- обслуживающий робот для работы на орбите — orbital servicing robot;
- луноход — moon robot;
- подводный робот — submersible (undersea, underwater) robot (обычная аббревиатура USR);
- подводный робот, соединенный кабелем с кораблем — tethered underwater robot.

Основными считаются две сферы применения роботов этой группы: под водой и за пределами Земли (в открытом космосе или на

поверхностях небесных тел). В некоторых случаях роботы этой группы являются автоматическими, однако чаще всего они управляются человеком-оператором, находящимся в непосредственной близости или дистанционно, на очень больших расстояниях. Во всех случаях роботы этой группы проектируются и изготавливаются в единичных экземплярах, дорогостоящих, тщательно отработанных и испытываемых.

5. *Военные роботы и роботы для охраны:*

- военный робот — military (fighting) robot;
- военный робот-заряжающий — ammunition-loading robot;
- робот-охранник — guarding robot;
- робот-часовой — sentry robot;
- робот-пожарный — fire-fighting robot;
- робот-полицейский — policing robot (в фантастических фильмах robocop);
- робот-разведчик — spy robot;
- робот-антитеррорист для ликвидации мин — antimine robot.

Для всех очевидно большая польза от широкого внедрения таких роботов: речь зачастую идет о сохранении человеческих жизней, по крайней мере, о перспективах сокращения персонала в очень опасных для человека условиях. Конструктивные идеи построения подобных роботов многочисленны (как правило, они не имеют ничего общего с персонажами фантастических фильмов). Однако обычно тяжелые и неповторяющиеся условия, в которых должны эффективно и надежно действовать роботы этой группы, создают непреодолимые препятствия для их создания. Но в некоторых случаях роботы военного назначения вполне реализуемы, например, роботы-разведчики (воздушные, представляющие собой беспилотные летательные аппараты, называемые на гусеничном ходу типа танкеток). В разных вариантах реализован робот-антитеррорист, или сапер с манипулятором и с гидравлической системой, позволяющей разбивать подаваемой под большим давлением струей воды предположительно взрывоопасные предметы. Такие роботы имеют колесные или гусеничные шасси и управляются оператором по изображениям на экране дисплея (изображение получается от видеокамеры, расположенной на самом роботе). Робот-заряжающий тоже существует в разных вариантах, в соответствующих конструкциях развиваются идеи, реализованные ранее в автоматах того же назначения. Роботам-дежурным (охранным, противопожарным и пр.) приходится выдерживать жесткую конкуренцию с обычными пассивными охранными сигнализирующими системами или активными (автоматическими системами пожаротушения).

6. *Роботы для нетрадиционных сфер применения:*

- сельскохозяйственный робот — agricultural (farming) robot;
- робот для поливки — dabbling robot;
- робот для сбора плодов (фруктов) — fruit-gathering robot;
- робот для стрижки овец — sheep-shearing robot;

- робот для лесозаготовок — timbering robot;
- робот для работы в офисах — office robot;
- торговый робот — retail robot;
- робот для домашнего хозяйства — domestic (household) robot;
- робот-уборщик — cleaning robot;
- робот для мытья окон — window-cleaning robot;
- робот для обучения — educational robot;
- учебный робот — instruction robot;
- робот для развлечения — entertainment robot;
- робот для игр — game robot.

В эту группу собраны роботы самых различных сфер применения, общим для них является иногда проблематичность пользы от их создания, иногда непризнание серьезности предполагаемого назначения, иногда неопределенность и неохватность задач, которые предположительно будут ставиться перед роботом. Будем рассматривать их по порядку. Три первые позиции относятся к сельскому хозяйству. Важность сельскохозяйственного производства для любой страны не подлежит никакому сомнению. В некоторых случаях и задачи представляются технически особенно сложными. Например, в разных странах создавались и испытывались автоматически управляемые роботы-пахари, приспособленные для обработки больших полей с гладким рельефом поверхностей. Также вполне реализуемой представляется идея автоматически перемещающегося по полю поливального агрегата. При сборе плодов с деревьев реализация представляется гораздо более сложной, но в ряде стран были построены экспериментальные роботы, в которых осуществляется распознавание плода на фоне листьев по изображению, получаемому от системы технического зрения, после этого рука манипулятора со специальным захватным устройством выводит ее на удобную позицию, сорванный плод укладывается в тару. Подобные роботы, к сожалению, дорогие, капризные и не очень надежные, оказались вполне работоспособными, однако не выдержали конкуренции с дешевой рабочей силой, к тому же сельскохозяйственные рабочие гораздо чище обирали плодовые деревья со всех сторон. Массовая стрижка овец в овцеводческих районах действительно представляет собой серьезную проблему, казалось бы, роботизация этой операции вполне возможна, и экспериментальные установки для автоматизированной стрижки овец реально существуют. Однако всякого рода вспомогательные операции все равно приходится выполнять рабочим, а именно они занимают наибольшее время. Лесозаготовительное производство также представляется перспективным для роботизации, однако здесь нужно выдерживать конкуренцию с трелевочными тракторами, снабженными манипуляторами. Эти тракторы, конечно, управляются вручную и не могут называться роботами. Роботы для работы в офисах, по дому, в торговле не приносят большой пользы, они часто встречаются в литературной фанта-

стике, а в действительности используются исключительно в качестве рекламы. Вполне серьезной представляется область обучения, необходимо только иметь в виду, что многочисленные компьютерные средства обучения не имеют отношения к робототехнике. Однако существуют тренажеры, в которых на макетах реализуется настоящее движение, они поэтому могут быть отнесены к роботам. Роботы для развлечений и игр существуют уже несколько столетий, хотя эти устройства и не называются роботами.

§ 1.2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО РОБОТОТЕХНИКЕ

Для специалистов, работающих с новой техникой вообще и с промышленными роботами в частности, недостаточно знакомства с предметом по учебнику. Учебник может дать лишь общее представление о предмете, его конкретный материал довольно быстро устаревает. Однако он дает исходную базу, исходный запас знаний для того, чтобы самостоятельно разбираться в специальной литературе. Литература по промышленным роботам многочисленна, на русском языке за последнее десятилетие вышло около двух десятков книг и многие сотни статей. Специалист даже самого высокого уровня не может знать хорошо каждый из литературных источников, но он обязан иметь представление о том, в каких источниках можно найти интересующие его сведения, решение той или иной задачи. Приведенные ниже сведения помогут ориентироваться в основной литературе по промышленным роботам, появившейся в последние годы.

Книги по робототехнике удобно разделить по следующим признакам: по ориентации на различный уровень подготовленности читателя (популярные, для учащихся техникумов и вузов, для инженеров, для научных работников), по ориентации на разные группы специалистов, выполняющих различные функции (расчеты, проектирования, специалисты по эксплуатации), по стилю изложения (описательный материал, справочные данные, нормативно-технические материалы, исследования вопросов теории и т. д.), по степени ориентирования на различные отрасли и производства, по тому, какие именно объекты находятся в центре внимания (роботы как единые изделия или их основные части и системы, или роботизированные технологические комплексы).

Список книг по робототехнике, доступных (по крайней мере, частично) и полезных для специалистов со средним техническим образованием, приведен в конце данного учебного пособия.

Прошедшее десятилетие было периодом быстрого спада производства. Робототехника как отрасль машиностроения в нашей стране была практически уничтожена. Однако за рубежом прогрессивное развитие в этой области продолжалось. Роботы поступали и будут поступать из-за рубежа как в составе автоматизированных производ-

ственных комплексов, так и как самостоятельные автоматические технологические машины и установки. Можно надеяться на то, что в обозримом будущем отечественное роботостроение, ориентированное на удовлетворение потребностей отраслей, возродится.

Однако пока следует констатировать, что одновременно с прекращением производства ПР оскудел и поток литературы по роботам, ориентированной как на работников проектных организаций и промышленности, так и на учащихся. Перед периодом спада в самом конце 1980-х, а также в 1990–1992 гг. вышел ряд учебных пособий и монографий отечественных авторов [1–3, 5, 6, 8–12, 14, 16, 17]; в значительной мере их научное и методическое содержание, а отчасти и сведения о выпускаемых промышленностью и работающих на предприятиях ПР сохранили актуальность до сих пор.

Исходные, базовые сведения в области робототехники для учащихся, не имеющих опыта самостоятельной работы, содержится в учебнике [16], первый из авторов, академик Е. П. Попов, является одним из основателей теории роботов как самостоятельного научного направления. Учебник широко охватывает проблематику, дает представление как о самих роботах, так и об их применении, причем не только в прошлом, но и в перспективе, а также о новых, еще не реализованных идеях в этой области. В монографии [2], автором которой (и, кроме того, многих других книг по робототехнике, вышедших в более ранние годы) является П. Н. Белянин, также один из основателей данного научного направления, подробно рассматриваются конкретные примеры внедрения ПР в машиностроительное производство, этот опыт подробно анализируется и обобщается. В его же монографии [3] основное внимание обращается на логику проектирования манипуляционных роботов, на обоснование выбора кинематических схем и геометрических параметров, выбора приводов устройств управления и их элементов. Монография [17], написанная коллективом авторов под редакцией П. Н. Белянина и Я. А. Шифрина, которая представляет, по существу, переработанное издание более ранней монографии, интересна тем, что ее материал в значительной мере основывается на опыте проектирования ПР организацией, одной из ведущих в этой области в 1980-е годы — ЦНИИТИ. Там описываются методики расчета, приводятся многие полезные рекомендации, которые ценны тем, что непосредственно вытекают из накопленного опыта. Монография [1] интересна тем, что в ней представлены достижения советской и болгарской промышленности в 1980-е годы. Большое число специальных задач, для разбора которых необходим достаточно высокий уровень математической подготовки, содержится в монографиях [5, 10, 11]. Достаточно подробно в работах [2, 8, 9, 14] рассказано о конкретном применении ПР в различных отраслях промышленности.

Наиболее объемной является трехтомная монография, изданная в конце 1980-х годов под редакцией акад. К. В. Фролова

и проф. Е. И. Воробьева [13], в которой наиболее подробно освещены вопросы геометрического, кинематического, силового, точностного и динамического расчетов механизмов манипуляторов. Разные разделы написаны разными авторами, поэтому стиль, подробность и уровень изложения различны: в одних разделах много внимания уделяется построению математических моделей и составлению уравнений манипуляторов в самом общем виде, а в других излагаются и на расчетных числовых примерах подробно иллюстрируются методики инженерных расчетов отдельных механизмов и деталей.

К сожалению, по многим библиотечным перечисленным книги не сохранились, а переиздания на протяжении всех 1990-х годов не осуществлялись.

Переводные книги по робототехнике, из которых как будто последней является не новая монография [18], имеются в библиотеках, однако они, как правило, неудачны по отбору материала.

Последним по времени выпуска является двухтомный учебник [13], выпущенный совместно двумя сибирскими издательствами. Большая часть материала учебника имеет гораздо более широкую область применимости, чем обозначено в заглавии (вакуумно-космические роботы и манипуляторы). Содержание построено на приложении практически всех вузовских учебных дисциплин механического цикла к задачам, которые могут возникать при расчете, проектировании, изготовлении и испытании машин, их механизмов и отдельных деталей. В условиях очевидного дефицита учебной литературы по техническим специальностям понятно стремление сделать издание полностью автономным, удовлетворяющим все потребности в методах расчетов и расчетных методиках. Так, в учебнике в общих постановках представлены основные разделы теории механизмов (структурный анализ и синтез, кинематика, динамика, передачи), сведения о конструктивных материалах и их выборе, разделы теории сопротивления материалов (типичные схемы нагружения, условия статической и усталостной прочности, условия устойчивости), сведения о конструкциях деталей машин и типовых соединений и методах их расчета. Из специальных разделов, выходящих за пределы обычных вузовских курсов общетехнических дисциплин, следует отметить введение, в котором отражена специфика условий работы и конструкций манипуляторов, предназначенных для работы в вакуумных установках и в космосе, и особенности их проектирования, главы, посвященные захватным устройствам, демпферам, ограничителям движения. Высокого уровня подготовки требуют главы, посвященные диагностике подшипниковых узлов и прогнозированию состояния механизмов.

К сожалению, после середины 1980-х годов в нашей стране совсем не издавались каталоги и сводные справочные пособия по ПР, производимым в мире. Поэтому фрагментарное представ-

ление о мировом парке ПР можно получить лишь из рекламных сообщений и малодоступных каталогов ведущих западных фирм.

Чтобы быть в курсе последних достижений, специалист по робототехнике любого уровня должен постоянно знакомиться со специальной периодической литературой. Статьи по робототехнике появляются в следующих отечественных журналах: «Механизация и автоматизация производства», «Станки и инструмент», «Вестник машиностроения».

Публикации по робототехнике представлены во многих зарубежных журналах. Если интерес представляет применение роботов в узкой области или отдельные вопросы проектирования, то поиск нужных статей, возможно достаточно редких, затруднен. В этих случаях большую пользу принесет реферативный журнал (РЖ) «Промышленные роботы и манипуляторы», выходящий ежемесячно и имеющийся во многих технических библиотеках предприятий. В РЖ публикуются краткие (на 10–15 строк) сообщения о содержании книг, сборников, научных и технических статей, авторских свидетельств. Все рефераты распределены по рубрикам. В частности, имеются рубрики «Общие вопросы робототехники», «Конструкции и технические характеристики роботов и манипуляторов», «Применение роботов и манипуляторов». В каждой рубрике имеются разделы. Так, в рубрике «Конструкции и технические характеристики роботов и манипуляторов» следующие разделы: роботы (имеется в виду — в целом), манипуляторы (как составные части роботов и как самостоятельные машины с ручным управлением), исполнительные устройства роботов и манипуляторов (например, рука, захватное устройство), приводы роботов и манипуляторов (электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные). В рубрике «Применение роботов и манипуляторов» рефераты распределяются по отраслям и по большим группам технологических процессов. Просмотрев рефераты только по одному разделу в выпусках РЖ за несколько лет, можно найти упоминания практически всех доступных публикаций по интересующему узкому вопросу.

Значительная часть рефератов (по отдельным направлениям — большая часть) относится к авторским свидетельствам на изобретения. Патентное исследование (патентный поиск) является необходимой составной частью первого этапа любой новой разработки; использование реферативного журнала позволяет получить самые свежие сведения о новых схемных и конструктивных решениях. Следует, однако, отметить, что из кратких сообщений часто бывает неясно, проверены ли практически предлагаемые решения, имеют они перспективу или нет. Тем не менее в любом случае оказывается полезным получить представление о том, насколько активно ведутся работы по выбранному конкретному направлению.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ

§ 2.1. ОБОРУДОВАНИЕ, БЛИЗКОЕ К ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТАМ

Промышленные роботы появились не на пустом месте, у роботов есть «близкие родственники», которые родились раньше, но успешно работают и в наше время. Они иногда конкурируют с промышленными роботами, но чаще сферы их применения разделены. Промышленная робототехника многое заимствовала из накопленного опыта проектирования, производства и эксплуатации автоматических и автоматизированных машин и устройств, близких к роботам, иногда они служили прототипами для конкретных промышленных роботов. Специалисты по робототехнике всех уровней должны активно освоить этот опыт, что поможет правильно выбирать конкретные технические средства (роботы или другое оборудование), а если нужно, заимствовать проверенные технические решения из смежных областей.

Сходство роботов с другими машинами и устройствами можно устанавливать по двум аспектам: по одинаковому характеру решаемых технических задач (по функциональной общности) и по сходству схемных или конструктивных решений, а иногда по тому и другому вместе. По функциональной общности к вспомогательным (обслуживающим) промышленным роботам близки автооператоры, манипуляторы с ручным управлением (в частности, копирующие), самобалансирующиеся манипуляторы, краны с жестким закреплением груза; некоторые из них похожи на роботы и по внешнему виду. Также по функциональной общности к технологическим (рабочим) роботам близки автоматы того же назначения (например, к сварочным роботам сварочные автоматы). Технологические автоматы иногда конструктивно совершенно не похожи на типовые роботы, но близкими или одинаковыми могут быть их устройства управления.

Рассмотрим кратко основные типы устройств, близких к роботам.

Автооператоры. Понятие автооператора стандартизовано. Автооператор определяется как «автоматическая машина, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора или совокупности манипулятора и устройства передвижения и неперепрограммируемого устройства управления» (ГОСТ 25686–85). При этом манипулятором называется «управляемое устройство или машина для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека...». В этих определениях подчеркнуты основные особенности автооператора: выполнение операций, подобных ручным,

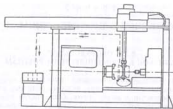


Рис. 2.1

и работа по одной и той же жесткой программе, т. е. совершение одной и той же последовательности движений. Автооператоры обычно предназначаются для загрузки заранее ориентированных заготовок в зажимные устройства станков (например, в патроны токарных автоматов) и переноса обработанных заготовок из зоны обработки. Имеются автооператоры для смены инструмента многооперационных станков. Так, автооператорами оснащены обрабатывающие центры. Автооператоры обычно являются специальными, т. е. проектируются для вполне определенного обслуживаемого оборудования. Но иногда они имеют менее узкую специализацию и могут работать с различными станками одной и той же группы. Очень часто автооператоры способны брать объекты только за поверхность одной и той же конфигурации и размера (например, за одинаковые поверхности унифицированных хвостовиков сменных инструментов станков). Однако иногда в них используются также же схваты, как у промышленных роботов, позволяющие захватывать предметы различных размеров. Переналдка автооператоров обычно допускается, но она занимает относительно много времени; иногда для перехода на другие размеры заготовок требуется замена деталей.

Часто автооператоры работают с объектами в виде тел вращения (типа колец, втулок, валов). Узкая специализация автооператоров позволяет выполнить механизм простым, а поэтому дешевым и надежным. По конструкции основными являются два базовых типа автооператоров: порталный и встроенный. У порталного автооператора одна или две руки установлены на тележке (каретке), перемещающейся по ригелю (транверсе), установка и взятие заготовок осуществляются сверху. Автооператор обслуживает один или несколько станков, его возможности в этом отношении определяются длиной ригеля. Автооператоры такого типа получили распространение еще с начала 1950-х годов, один из них изображен на рис. 2.1. Однако в наше время большинство машин такого

типа стали снабжать перепрограммируемыми устройствами управления, вследствие чего они перешли в разряд порталных промышленных роботов (см. § 4.1).

Одновременно с порталными появились встроенные автооператоры, они до настоящего времени сохранили свою самостоятельность и широко распространены. Такие автооператоры обычно устанавливаются на станинах и суппортах станков; вследствие того что они работают вблизи рабочей зоны (самостоятельными вспомогательными устройствами заготовки подаются также близко к рабочей зоне), механизмы могут иметь малые размеры и малые ходы. Узкая специализация часто позволяет подавать заготовки в очень удобное положение, тогда манипуляторы автооператоров могут иметь малое число степеней подвижности. Имеются манипуляторы, у которых рабочий орган (он часто называется питателем) имеет одну, обычно поступательную, степень подвижности. Так бывает, например, когда заготовка подается на ось патрона станка, и ее достаточно протолкнуть вперед, чтобы вставить в патрон.

Однако более распространенными являются автооператоры с двумя степенями подвижности. Три степени подвижности встречаются реже. Обычно автооператоры не приспособлены для изменения ориентации объектов или изменяют ориентацию при установке на один и тот же угол (90 или 180°). Если на последовательных этапах обработки требуется переустанавливать заготовку в различных положениях, то нередко устанавливается отдельный механизм с одной степенью подвижности — кантователь, обслуживаемый тем же автооператором. Самостоятельные механизмы, работающие совместно с автооператорами, устанавливаются также тогда, когда необходимо обеспечить большие перемещения или траектории переноса являются сложными. Если транспортер, по которому поступают детали или заготовки, располагается значительно ниже зоны, в которую их нужно подавать, то нередко устанавливается специальный подъемник, перемещающий эти детали или заготовки в рабочую зону автооператора. Иногда также предусматриваются специальные устройства для транспортирования в горизонтальной плоскости.

Рабочие органы автооператоров выполняются с одним, двумя или даже с четырьмя схватами, причем в одних случаях схваты крепятся на одной раме, а в других — перемешаются самостоятельно.

Приводы большинства автооператоров гидравлические; это целесообразно в тех случаях, когда обслуживаемое оборудование также имеет гидравлические устройства. Двигателями при этом являются гидроцилиндры, задающие перемещение прямо на зензия или через простейшие шарнирные механизмы. Меньшее распространение получил пневмопривод. Если допускает компоновка, к простым и надежным конструктивным решениям приводит использо-

вание механического привода обслуживаемого оборудования (через распределительный вал или иначе).

Программирование движений обычно осуществляется так, что перемещения по степеням подвижности происходят последовательно, друг за другом. Линейные перемещения звеньев автооператоров, установленных на оборудовании, обычно невелики (около 0,2–0,4 м), скорости перемещений обычно не превышают 0,1–0,2 м/с. При этом время цикла достигает 10–20 с. Конструкции манипуляторов автооператоров выполняются жесткими, поэтому они могут быть сделаны достаточно точными.

Обратим внимание на то, в чем сходство автооператоров со вспомогательными промышленными роботами и в чем различие. Применительно к двум типам (подвесные и встроенные) автооператоров и роботов можно констатировать сходство схем, компоновок и конструктивных решений. Однако роботы, как правило, имеют большее число степеней подвижности (три и более). Среди автооператоров не встречается тип, аналогичный нальному роботу, который в робототехнике является самым распространенным. Типично различие в приводах: приводы роботов чаще пневматические, а не гидравлические, как обычно у автооператоров. Для роботов обычно характерны большие ходы, большие скорости перемещений и меньшее время цикла. В устройствах управления роботов предусматривается возможность перепрограммирования, чего нет у автооператоров. Когда создавались первые роботы для обслуживания металлорежущих станков, автооператоры нередко служили прототипами как в целом, так и по отдельным узлам.

Манипуляторы с ручным управлением. Таким манипулятором управляет человек-оператор. Манипулятор имеет приводы, обычно гидравлические и электрические. Манипуляторы с ручным управлением используются, во-первых, когда необходимо поднимать большие грузы, а во-вторых, когда оператор не может находиться в одной среде с манипулируемым объектом, например в воде на большой глубине, в агрессивной среде, в космосе. В первом случае оператор может находиться рядом с захватным устройством, во втором — управление является дистанционным. Различают следующие виды управления манипуляторами: командное, копирующее, полуавтоматическое, супервизорное. При командном управлении оператор кнопками включает приводы, на глаз контролируя выполнение движений. При копирующем управлении оператор перемещает специальную рукоятку, а манипулятор в определенном масштабе (обычно с увеличением) повторяет ее движения. При полуавтоматическом управлении оператор прикладывает к рукоятке усилия, приводы работают так, что скорость перемещения рабочего органа пропорциональна усилию. Супервизорное управление гораздо сложнее: в основном движение происходит автоматически, оператор лишь управляет вве-

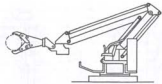


Рис. 2.2

дением в действие отдельных программ или команд, указывает цели движения.

Отметим характерные особенности манипуляторов с ручным управлением в зависимости от назначения. Манипуляторы большой грузоподъемности, например погрузчики (рис. 2.2), обычно имеют немного степеней подвижности, привод гидравлический, захватное устройство без подвижных элементов (типа крюка, вил или лопаты), скорости перемещений малые (около 0,1 м/с). Конструкции их обычно массивные, внешнее подобие руке человека не всегда имеет место. Такие манипуляторы работают во многих отраслях: в металлургии, на транспорте, в машиностроении на разгрузке и сортировке и пр.

Манипуляторы с дистанционным управлением для работы в воде, космосе или вредных средах обычно имеют системы копирующего или полуавтоматического управления, число степеней подвижности велико (шесть или семь). Часто такие манипуляторы выполняются двуручными. Одна из наиболее удобных компоновок — когда руки свисают сверху (рис. 2.3). При этом наиболее удобно наблюдение за движениями манипулятора. Рабочие органы выполняются обычно в виде клешней, но иногда делаются сменными. Привод чаще всего электромеханический, диапазон изменения скоростей обычно достаточно широкий, движения переноса выполняются быстро, наиболее точные — медленно. Манипуляторы такого типа представляют собой достаточно громоздкие, сложные и дорогостоящие установки, выпускаемые малыми сериями. Они давно используются в атомной, химической и биологической промышленности, но не в основном производстве, а в исследованиях, поскольку манипуляторы работают достаточно медленно, и работа с ними для оператора утомительна.

Сбалансированные манипуляторы. Сбалансированными называются манипуляторы с ручным управлением, имеющие систему автоматического уравновешивания рабочего органа вместе с грузом. Они называются также манипуляторами с автоматическим уравновешиванием груза. Принцип действия таких манипуляторов заключается в том, что автоматически осуществляется только

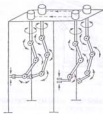


Рис. 2.3

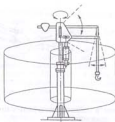


Рис. 2.4

компенсирование силы веса (обычно с помощью пневмоцилиндров, в полости которых подается специально отрегулированное давление), а перемещение уравниваемого объекта задает рабочий. Грузоподъемность таких манипуляторов (рис. 2.4) обычно составляет 100–500 кг. Перемещения обычно осуществляются медленно, поскольку рабочему приходится преодолевать инерционность тяжелого объекта. Сбалансированные манипуляторы заменяют краны, погрузчики, тали и другие подъемные устройства при обслуживании складов, монтаже и демонтаже, разгрузке и загрузке транспорта, упаковке готовых изделий, установке тяжелых заготовок на станки и снятии их. Применение сбалансированных манипуляторов не высвобождает работников, но значительно облегчает труд и снижает потери времени.

Сбалансированные манипуляторы бывают подвесными, но чаще они выполняются напольными, иногда на тележках, чтобы их можно было проще перемещать и устанавливать на любом месте. Размеры сбалансированного манипулятора согласованы с ростом человека (высота примерно в 1,5 раза превышает рост), допустимые перемещения по вертикали составляют около 1,5 м, в горизонтальной плоскости — около 2 м. Потребность народного хозяйства в простых и дешевых сбалансированных манипуляторах велика. Они не относятся к промышленным роботам, поскольку работают не автоматически, не по программе. Длительное время было неясно, куда их относить. Теперь намечается тенденция объединять сбалансированные и некоторые другие манипуляторы с промышленными роботами, поскольку они схожи по схемам и конструктивным решениям, используются для технических решения сходных задач и иногда выпускаются одними и теми же организациями. В последних каталогах и справочниках по промышленным роботам [4, 15] также приводятся сведения о манипуляторах различного назначения.

Краны с жестким подвесом груза. Такие краны часто относят к обычному подъемно-транспортному оборудованию. Однако замена свободного подвешивания груза (на тросах или цепях) жестким (например, на выдвижной телескопической колонне) сближает эти краны с промышленными роботами по схемным и конструктивным решениям. Чаще всего встречаются схемы и конструкции двух типов: типа мостового крана и типа штабелера (подъемника). В обоих случаях перемещения составляют метры или десятки метров, скорости перемещений достигают 1 м/с. Управление краном осуществляет оператор, чаще всего используется командное управление. Когда удастся заменить ручное управление программным (по кодированным командам, поступающим по каналам связи), то кран перейдет в разряд промышленных роботов. При этом он может работать с грузами, установленными на вполне определенных местах и точно ориентированными.

Специальные манипуляторы. Эти манипуляторы, управляемые вручную, приспособлены для выполнения вполне определенных операций. Некоторые типы таких манипуляторов кратко описаны в работе [4]. Наиболее разнообразны кочковые манипуляторы с ручным управлением, предназначенные для манипулирования заготовками во времяковки (после каждого удара могут производиться ее поворот и смещение). В случае необходимости эти же манипуляторы транспортируют заготовки от нагревательных печей к прессам или молотам и затем к другим агрегатам. Кочковые манипуляторы имеют большую грузоподъемность (до нескольких тонн). Некоторые из них делаются на колесном шасси (типа автомобильного). По конструкции кочковые манипуляторы сильно отличаются от всех распространенных типов промышленных роботов. В частности, для них характерно громоздкое и тяжелое захватное устройство.

Для технологических промышленных роботов сходство с соответствующим автоматическим технологическим оборудованием того же назначения обычно меньше, чем для вспомогательных. Так, автоматы для шовной электросварки листов komponуются иначе, чем типовые сварочные роботы; станки и роботы для шлифования также значительно различаются по конструкции и общему виду. Опыт, накопленный при создании автоматического технологического оборудования, непосредственно переносится на роботы преимущественно в части рабочих (технологических) органов: сварочных клещей, горелок, распылителей и пр., а также в части построения систем управления.

Автоматические транспортные средства. Самостоятельную группу представляют самоходные транспортные средства, предназначенные преимущественно для перемещения на большие расстояния, так что кинематической связи (например, с помощью шарнирно-рычажных механизмов) с неподвижно установленным оборудованием исключаются (в некоторых случаях только допускается под-

вод электроэнергии по кабелям или сжатого воздуха или вакуума по трубопроводам). Управление подобными средствами (роботами) может осуществляться или автоматически, или по командам оператора, или комбинировано. В приведенном ниже кратком обзоре обращается внимание на особенности требований к таким роботам, на принципы работы ходовых частей, на задачи, которые должны решать системы автоматического и автоматизированного управления. Всего можно выделить более десятка типов транспортных роботов, ниже перечислены и кратко охарактеризованы наиболее известные.

1. Перемещение является свободным в жидкой или газовой среде, т. е. без всякой опоры и без контакта с внешними предметами. Таковы существующие автоматически управляемые летательные аппараты, предназначенные для наблюдения и разведки, по конструкции представляющие собой беспилотные самолеты. Таковы также существующие и успешно работающие на морях автоматически управляемые или автоматизированные подводные аппараты типа батискафов или мини-подводных лодок без экипажа. Они имеют самостоятельные двигатели (винтовые установки) и рулевые устройства, используются для поиска и предварительного обследования затонувших кораблей, состояния подводных конструкций мостов и буровых установок или других объектов, для исследования подводных течений, анализа глубоководной фауны и пр. Некоторые из них способны погружаться на большие глубины; из-за того, что без человека нет необходимости поддерживать в больших объемах низкое атмосферное давление, конструкция выполняется тонкостенной и более легкой. Такие аппараты обязательно оснащаются средствами технического зрения (телекамерами), жестко устанавливаемыми на корпусе или поворотными, иногда шарнирно-рычажными руками-манипуляторами. Трудности возникают, когда нужно очень медленно двигаться при возможном наличии достаточно быстрых течений в любых требуемых направлениях вблизи обследуемых объектов, чтобы избежать столкновений. Для этого предусматривается несколько систем винтов и рулей, задающих перемещение по разным направлениям и развороты вокруг разных осей. Устройства управления должны обеспечивать хорошую координацию работы всех приводов. Если имеются еще и механические руки-манипуляторы, то их приводы обычно имеют самостоятельную систему управления. Для систем управления серьезные трудности представляют обеспечение навигации, определение собственных координат относительно базы, когда прямая видимость отсутствует.

2. Перемещения в жидкой среде ограничены по крайней мере по некоторым направлениям. Таковы роботы типа герметизированных капсул; проектируемые и существующие пока только в экспериментальных образцах, они предназначены для обследования изнутри состояния и чистки трубопроводов, заполненных водой,

нефтепродуктами или другими жидкостями. Такие роботы могут не иметь самостоятельных движительных установок (тогда они перемещаются потоками жидкостей), но могут также иметь винты или «ноги», упирающиеся в стенку трубы.

3. Робот должен перемещаться по гладкой горизонтальной поверхности, в частности, по полу. В таких условиях работают транспортные роботы, предназначенные для перевозки тары с заготовками, готовыми деталями и изделиями в автоматизированных цехах между станками. Перевозка осуществляется по заданным маршрутам с остановками у определенных станков, на требуемых позициях у ячеек складов и т. п. Условия для перемещения робота здесь самые благоприятные, в качестве ходовых частей можно использовать обычные колесные шасси. Трудности возникают при необходимости движения по заданным трассам и при необходимости точной остановки на заданных позициях.

4. При перемещениях чаще всего по гладкому полу нужно иногда преодолевать препятствия (например, пороги), подниматься по лестницам. Обычно в этих случаях механизмы колесных шасси дополняются специальными механизмами перешагивания. В частности, перешагивание достаточно просто осуществляется при замене каждого колеса на трехколесный блок (при движении по горизонтальной плоскости опора происходит на два колеса), при движении по лестнице сами колеса зазорமாகаются, а задается вращение всего блока вокруг своей оси. Однако можно пойти совсем по другому пути: вместо колесных шасси строить шагающие механизмы.

5. Робот должен перемещаться по слабопересеченной местности, обходить большие и преодолевать небольшие препятствия. Такие роботы проектируются, например, для разведки, наружного наблюдения зараженной местности, как антитеррористы и пр. Проблемы, возникающие при проектировании подобного рода роботов, сходны с теми, которые существуют при создании транспортных средств, способных двигаться по бездорожью. В зависимости от конкретных требований шасси может быть колесным (с разным числом осей — от двух до четырех, предпочтительно, чтобы все они были ведущими) или гусеничным. Размеры таких роботов невелики, в два-три раза меньше, чем соответствующих транспортных средств, предназначенных для транспортировки людей; скорости перемещения редко превышают 1 м/с.

6. Робот должен перемещаться и удерживаться на гладких, как угодно ориентированных (в частности, вертикальных) плоскостях или слабо искривленных поверхностях. Это требуется, например, при автоматизации очистки больших поверхностей остекления стен зданий, теплиц, при пескоструйной очистке, обработке и окраске поверхностей судов, находящихся в сухом доке.

7. Перемещения по различным конструкциям, удерживаясь за них, например, по фермам мостов и перекрытий, мачтам линий

электропередач, балкам, столбам, трубам, тросам и т. п. Подобные роботы могут использоваться для различных целей: обследования состояния конструкций, окраски и нанесения покрытий, прокладки кабелей и трубопроводов. В этих случаях более всего подходит схема многоногого робота с шарнирно-рычажными конечностями. Конечности могут оканчиваться захватными устройствами, механическими схватами зажимного типа, тогда робот перемещается, цепляясь за подходящие элементы подобно обезьяне. Но может быть использован и другой принцип, когда шасси со многими конечностями аналогично кисти руки человека, каждая конечность играет роль пальца с простым наконечником, и тогда захватывание опорных элементов происходит только за счет координированного совместного сжатия всей системы конечностей.

8. Роботы, предназначенные для работы в космосе. На самом деле это не один тип робота, а несколько, объединенных в одну группу только спецификой условий работы, а не выполняемыми функциями. А эти функции могут быть самыми различными: манипулирование на орбите в несомости (перемещения и развороты отдельных блоков и конструкций космических станций при монтаже и демонтаже), перемещения на достаточно большие расстояния по поверхностям Луны, Марса или астероидов, выполнение некоторых технологических операций (например, сбор образцов грунта, бурение также с забором образцов и т. д.). Особенности работы таких роботов, принципиальные и технические решения рассматриваются ниже.

Космические роботы. Космические роботы или робототехнические системы космического назначения, конечно, не относятся к числу промышленных роботов. Но оказалось, что именно они в настоящее время пользуются наибольшей известностью. Работы над их созданием в нашей стране начались еще в конце 1960-х годов в ленинградском ВНИИТрансмаш и без перерывов успешно ведутся до сих пор. Выделяются две наиболее важные группы космических роботов:

- 1) манипуляторы, предназначенные для работы и действительно работающие в течение многих лет на космических челноках типа «Шаттл» и «Атлантис» и на космических станциях;
- 2) луноходы и планетоходы, представляющие собой тележки на колесных шасси, несущие научную аппаратуру, средства связи, антенны и пр.

Манипуляторы на космических челноках используются для установки на орбиты спутников (их нужно отводить от самого челнока), захватывания спутников, наружного осмотра конструкций и некоторых других работ. На космических станциях манипуляторы, управляемые вручную, используются космонавтами как средства перемещения к разным составным частям и как дополнительные опоры при проведении внешних работ.

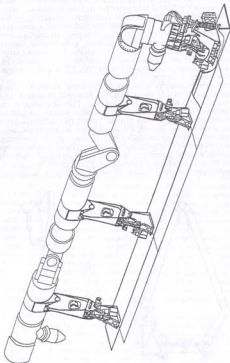


Рис. 2.5

Космические манипуляторы всегда имеют только прашательные кинематические пары переносных перемещений. Длина звеньев составляет 5–7 м, а вылет может превышать 15 м. При таких больших размерах масса манипулятора должна быть относительно малой — менее 1 т. Звенья выполняются из тонкостенных (толщина стенок около 3 мм) труб большого диаметра (примерно 300 мм) из специального сплава. Одно из важных требований к конструкции заключается в том, что в случае необходимости звенья манипулятора должны компактно складываться, конструкция шарниров должна допускать это. Типичный космический манипулятор, предназначенный для использования на орбитальном корабле «Буран», в развернутом виде изображен на рис. 2.5, а при перенесении космонавта — на рис. 2.6.

Ввиду ограниченности источников энергоснабжения на орбите мощности приводов для таких больших размеров манипуляторов очень малы, всего несколько десятков ватт. При невеличии малых мощностей можно перемещать любые массы, но передаточные отношения редукторов передач приходится выбирать очень большими (несколько тысяч), а выполняемые движения оказываются при этом очень медленными, что помимо прочего необходимо для обеспечения безопасности. Конструкция манипулятора имеет очень низкую жесткость, поэтому очень низки собственные частоты (они составляют несколько десятых герца), что, конечно, затрудняет работу с манипулятором, поскольку включение

и выключение приводов приводят к медленным качаниям больших амплитуд.

К космическим манипуляторам предъявляются очень высокие требования по надежности; в случае отказа любой ремонт в космосе практически невозможен. Поэтому система должна быть тщательнейшим образом отработана на Земле. Однако испытания в земных условиях сами по себе представляют серьезные трудности: маломощные приводы не в состоянии преодолевать не только силы тяжести, но и моменты сил трения, возникающие из-за сил тяжести. Вследствие этого приходится создавать специальные испытательные стенды с разгрузкой.

Автономные (управляемые автоматически, без участия человека) или дистанционно управляемые человеком луноходы и планетоходы на колесных (обычно шестиколесных) шасси как транспортные средства имеют еще больше особенностей. Колеса при езде должны обеспечивать амортизацию и хорошее сцепление с грунтами, которые могут быть сыпучими. Но в вакууме и при больших перепадах температур применение резины полностью исключено. Вместо этого в луноходах используются специально разработанные упруго податливые ажурные металлосетчатые колеса с грунтозащепами. Все колеса являются ведущими и имеют каждое свой электродвигатель, конструктивно объединенный с редуктором. Во многих конструкциях двигатель монтируется в самом колесе, такой агрегат называют мотор-колесом. Саму основу кодовой части шасси обычно составляет жесткая рама, однако имеются варианты ее построения в виде сочлененной конструкции. Маневрирование осуществляется не поворотом колес, а заданием различных угловых скоростей вращения колес справа и слева. Может задаваться различная скорость движения, для некоторых моделей до 1,5 м/с, однако обычно движение происходит с гораздо меньшими скоростями. Управление движением может осуществляться автоматически, но основным является режим дистанционного управления по командам оператора с Земли. Оператор получает текущую информацию об обстановке от телекамеры, установленной на луноходе. Одна из серьезных трудностей при дистанционном управлении с Земли заключается в большом запаздывании при прохождении сигналов с Луны и обратно. Чтобы избежать аварийных ситуаций, требуется значительно уменьшать скорости движения.

В качестве альтернативного варианта для транспортных роботов-луноходов многие годы прорабатывался вариант шагающего, шестиногого шасси. Преимущества такого схемного решения очевидны: потенциальная возможность преодоления препятствий большой высоты. Во многих организациях были сконструированы и оказались работоспособными в лабораторных условиях экспериментальные образцы шагающих автоматов с компьютерным управлением. Однако сложность кинематики, вытекающая из этого по-

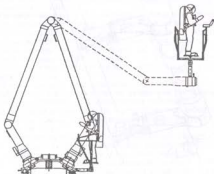


Рис. 2.6

требная сложность управления привели к тому, что эти интересные разработки не были доведены до образцов, действительно способных работать на поверхностях Луны и других планет. Известны совершенно оригинальные и перспективные предложения, например, строить шасси, как колесно-шагающие. В этом случае основой является схема шагающего автомата, но каждая конечность заканчивается колесом. По ровной поверхности движение представляет собой качение на колесах, для этого фиксируется выгодное положение звеньев конечностей; при движении по пересеченной местности колеса на каждой конечности затормаживаются и движение осуществляется переагиванием.

Некоторые луноходы имеют манипуляторы для захватывания образцов грунта с поверхности, неглубокого бурения, установки приборов и т. п. Эти манипуляторы имеют облегченные конструкции — их масса — несколько килограммов, а мощность электродвигателя около 1–2 Вт.

Условия работы робототехнических систем космического назначения (глубокий вакуум, очень большие перепады температур, сыпучесть грунтов) обязательно учитываются при разработках, поскольку это сильно сказывается на свойствах материалов, элементов и узлов (в частности, подшипниковых узлов). При требованиях очень высокой надежности робототехнических систем космического назначения необходимо создавать специальные испытательные стенды, установки и полигоны, по возможности воспроизводящие по большинству параметров реальные условия эксплуатации.

Транспортные роботы-стеноходы. К числу перспективных следует отнести транспортные роботы, способные перемещаться по плоским или слабо искривленным поверхностям любой ориентации (в частности, по вертикальным стенам или потолку). Такие роботы могут проектироваться для использования в атмосферных условиях, под водой или в среде других жидкостей. Они могут предназначаться для очистки больших остекленных, оштукатуренных, бетонных или даже кирпичных стен зданий, очистки корпусов судов в сухих доках или даже под водой, обследования снаружи или изнутри стенок больших резервуаров, окраски или нанесения покрытий, может быть, орнаментальной или рекламной росписки глухих стен зданий и т. п. Альтернативой лишь в некоторых случаях является использование кранов или строительных манипуляторов, управляемых вручную, что возможно в ограниченных диапазонах высот.

Для удерживания самостоятельно перемещающихся по таким поверхностям транспортных роботов могут применяться разные физические принципы. В случае, когда материал опорной поверхности — сталь, для создания сил притяжения к поверхности можно использовать постоянные магниты или электромагниты. Однако наиболее универсальным является принцип присасывания,

когда в специально предусмотренных камерах создается разрежение и возникающая при этом сила притягивает корпус робота к поверхности.

Робот должен не стоять на месте, а перемещаться. Для перемещения могут быть также использованы различные принципы. Один принцип — это переагивание, при этом робот имеет не одну, а несколько камер и приводные механизмы, попеременно задающие перемещения этих камер относительно корпуса. После совершения шага, т. е. после переноса камеры, она присасывается к поверхности, к ней перемещается корпус робота, а другая камера переносится вперед. Затем эта вторая камера присасывается и к ней перемещается корпус. При двух камерах получается полная аналогия двуногой ходьбы. Важным преимуществом этого принципа является возможность переагивания через небольшие препятствия, например, при перемещении по остекленным поверхностям — через элементы типа оконных переплетов. Механизмы, задающие перемещения камерам, обычно выполняются не с вращательными, а с поступательными кинематическими парами. Второй принцип основан на использовании колесного шасси. Камера притягивает шасси к опорной поверхности, прижимает колеса к поверхности, а перемещение осуществляется обычным образом, за счет вращения колес. При этом необходимо решить несколько сложных технических задач:

- обеспечение условий скольжения камеры по поверхности с небольшим трением и одновременно хорошего сцепления колес с поверхностью с тем, чтобы колеса при вращении не проскальзывали;
- уменьшение протечек воздуха по контуру камеры (очевидно, что при неровностях поверхности протечки становятся больше);
- откачка воздуха из камеры (это можно делать по шлангу от стационарной установки, но это ограничивает радиус действия, или иметь самостоятельный агрегат создания вакуума, но это утяжеляет весь робот в целом);
- управление направлением движения и стабилизация направления движения по прямолинейным участкам.

Управление подобными роботами может осуществлять оператор, дистанционно; но для простых случаев, когда, например, при очистке необходимо просканировать большую площадь прямоугольного поля, управление движением без особых трудностей осуществляется автоматически.

В течение двух десятков лет в Санкт-Петербургском техническом университете (ранее — Ленинградский политехнический институт) было спроектировано, изготовлено и испытано несколько экспериментальных образцов подобных транспортных роботов.

Демонстрационные роботы. Самостоятельную группу образуют демонстрационные роботы, которые у нас еще не имеют «права гражданства». Между тем исторический опыт показывает, что все-

гда существовал большой интерес к автоматам, которые не предназначены для работы на производстве, не выполняют никаких утилитарно полезных функций, а лишь демонстрируют сами себя или посторонние объекты либо служат просто для рекламы или развлечения. Во всем мире существует развитая и мощная демонстрационная робототехника (придуман даже специальный термин — «аниматроника»), частично входящая в индустрию развлечений. В течение многих веков такие роботы существовали реально, в виде заводных игрушек или механических автоматов, иногда с очень сложной механикой. Известно, что широкое распространение они получили во второй половине XVIII и в начале XIX века в связи с развитием точной механики.

В наше время за рубежом подобные автоматы, выполняющие нередко простые, а иногда и сложные движения, широко используются в рекламе (в частности, устанавливаются в витринах), в экспозициях на выставках, праздничных представлениях, ярмарках, презентациях, в аттракционах развлекательных парков типа Диснейленда, в кинематографии и на телевидении при имитации живых существ. Хорошо известны сложные электромеханические игрушки с компьютерным управлением (в том числе и интеллектуальные). При этом достигается цель — не только развлечение; немало примеров, когда специализированные автоматы используются для обучения или тренировки. В роли демонстрационных могут выступать настоящие промышленные роботы, когда они не выполняют производственные функции (например, когда большой промышленный робот играет в шахматы, переставляя фигуры на доске).

Основными отличительными особенностями демонстрационных роботов по сравнению, например, с обычными заводными игрушками являются наличие не слишком простых механизмов с несколькими приводами, движение составных частей механизмов, ориентация на зрительное восприятие. Зачастую бывает целесообразным придание им свойства регулируемости и перенастраиваемости. Если отсутствует движение, устройство, каким бы оно ни было сложным, нельзя признать роботом. Так, к робототехнике не имеют отношения многочисленные компьютерные игры, в которых все действие происходит на экране монитора. С другой стороны, к роботам не могут быть отнесены игры, в которых перемещения задаются вручную (например, настольный футбол).

В эпоху развития компьютерных технологий естественным и очень сильным конкурентом демонстрационных роботов выступает компьютерная анимация. Конечно, при больших аппаратных ресурсах и при наличии мощного программного обеспечения можно создавать на экранах любые движущиеся изображения. Однако для зрителя движущиеся картинки — не то же самое, что реально движущиеся в реальном пространстве объемные персонажи. Даже в кинематографии и на телевидении, где в конечном счете все

проецируется на плоский экран, оказывается невозможным обойтись без создания демонстрационных роботов. Поэтому создают, например, движущиеся макеты разных чудовищ (классический пример — фильм «Парк юрского периода»).

Зритель в первую очередь воспринимает внешний вид демонстрационного робота. Демонстрационный робот может воспроизводить фигуру человека или только ее часть (например, до пояса, или даже только голову, или только руку), фигуру животного, реального (современного или ископаемого) или фантастического. Но известно немало демонстрационных роботов, которые имитируют технические объекты, в том числе и роботы (такие или реальные, или виртуальные, существующие только в воображении). С другой стороны, существуют демонстрационные роботы, которые представляются собой некие конструкторские фантазии, не напоминающие по внешним формам ни людей, ни животных, ни известные машины. Во всех случаях при разработке экстерьера любого демонстрационного робота значительное место обычно принадлежит дизайнеру.

При создании демонстрационных роботов основные проблемы чаще всего связаны с механикой, начиная с выбора подходящих кинематических схем. При этом нужно различать три типовые ситуации.

1. Демонстрационный робот по внешним формам и по движениям никого и ничего не имитирует, при этом конструкция создается исходя из особенностей общего вида основных конструктивных формообразующих элементов, простоты реализации и элементарных законов дизайна. Функции и движения заранее никем не регламентируются, необходимо лишь, чтобы посмотреть на движение такого робота было интересно. Бывает так, что вполне удовлетворительным оказывается самое примитивное решение. Например, известен демонстрационный робот, который представляет собой ряд пневмоцилиндров с параллельными осями, как трубы органа, их штоки совершают согласованные движения, так что по их концам элементам, соединенным гибкой лентой, как будто бежит волна.

2. К экстерьеру робота не предъявляются определенные требования, но необходимо правильное, надежное и точное выполнение вполне определенных функций непроизводственного характера, причем это должно быть максимально наглядно. Подобные роботы многочисленны. Например, известны роботы-музыканты, играющие на настоящих фортепиано или на смычковых музыкальных инструментах, роботы-пыль, ведущие экскурсии по определенным участкам экспозиций. Они могут быть антропоморфными (похожими на человека) или зооморфными (похожими на животных), но это не обязательно. Для определенных категорий подобных роботов организуются квалификационные испытания и соревнования. Так, например, организуются соревнования для

мини-роботов-футболистов, для транспортных роботов, бегающих по намеченным трассам, собирающих определенные предметы и сортирующие их; устраиваются парные бои роботов-гладжаторов, когда целью каждого является уничтожение или приведение в негодность противника и т. д.

3. Демонстрационный робот внешне имитирует человека, животное или даже машину. При отсутствии движения подобный объект квалифицируется как манекен, мюзля или чучело. Размещение автоматических управляемых приводов, задающих программные движения механизмам, придает им свойства робота. В подобных случаях задаются требования как к устройству подобных роботов, так и к виду и качеству выполняемых движений (в частности, к траекториям всех подвижных звеньев и конечных точек, а также к плавности движений). Высокий уровень правдоподобия для таких роботов может создаваться, например, точной имитацией привычных жестов рук человека, мимики его лица, повадок животных и пр.

Основные источники сведений о демонстрационных роботах — рекламные сообщения, работы художников-оформителей полиграфической продукции, рисованные и объемные персонажи мультфильмов и компьютерных игр, фантастические персонажи игровых фильмов (создаваемые как средствами компьютерной анимации, так и в виде движущихся макетов). Поскольку часто демонстрационные роботы сами объектами рекламы не являются, они — лишь средство для демонстрации серийной продукции, к которой исключительно и привлекается внимание, технические описания подобных роботов, как правило, недоступны, и можно лишь догадываться об их внутреннем устройстве.

Судя по публикациям, первое место здесь принадлежит Японии, далее следуют США и некоторые европейские страны. Определенные достижения имеются и в России. Так, в МГУ был разработан и создан четырехколесный транспортный робот, автоматически перемещающийся по извилистой трассе, намеченной линией на полу; он собирает и сортирует по пути шары различных цветов. По результатам соревнований, проведенных во Франции в 1997 г., авторы разработки получили приз Международного фестиваля наук и технологий. Впоследствии коллективом под руководством крупных ученых МГУ был создан автоматический двухколесный велосипед с гироскопической стабилизацией, способный перемещаться с приличной скоростью по такой же трассе.

§ 2.2. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ РОБОТОТЕХНИКИ

Какие машины можно называть роботами вообще, а какие — промышленными роботами? Как называть различные типы, виды и разновидности промышленных роботов? Как называть составные части и основные устройства роботов?

Четкие и однозначные ответы на эти вопросы нужны всем специалистам, имеющим какое-либо отношение к созданию и внедрению роботов, чтобы легко, без длинных разъяснений понимать друг друга. Ответы на эти вопросы нужны также для статистики и планирования. Если в сводки или планы включаются данные о числе разработанных, внедренных или намечаемых к внедрению промышленных роботов, то нужно быть уверенными в том, что везде к промышленным роботам относят одинаково и те же машины. Установление единства терминологии важно не только для нашей страны, но и в плане международного сотрудничества. Формирование и установление понятий в области робототехники имеет свою длинную историю. Слово «робот» родилось не в технике. Его придумал в 20-х годах известный чешский писатель Карел Чапек. В его пьесе роботы выступают как человекообразные, сильные, неприхотливые, тупоисполнительные автоматы. В течение последующих десятилетий роботы встречались исключительно в литературных произведениях, написанных в жанре фантастики. Часто им добавляли интеллект, иногда довольно высокий, человекоподобие или антропоморфность сохранялась не всегда. Но неизменным оставалось свойство исполнительности. В 60-х годах термин «робот» взяли на вооружение в технике. Роботами стали называть реальные машины, устройства, системы. При этом роботами именовали не только механические руки с автоматическим или командным управлением (манипуляционные роботы), но и транспортные средства, оснащенные более совершенной автоматикой, как обычно (транспортные роботы), специализированные вычислительные устройства и системы с банком данных (информационные роботы), устройства звуковой и видеозаписи и воспроизведения со сложным управлением. При этом в официальных документах и паспортах такие устройства или системы роботами не называются.

К настоящему времени общепризнанного понятия «робот» не существует. Поэтому определить понятие «промышленный робот» как «робот», предназначенный для работы в промышленности, нельзя. Невозможно также связывать понятие промышленного робота с определенным назначением, ибо они могут выполнять самые различные операции. Специалистам стоило большого труда выработать и согласовать такое определение, которое было бы достаточно общим и в то же время четко устанавливало отличительные особенности промышленных роботов. Такое определение, записанное в государственном стандарте (ГОСТ 25686—85), звучит следующим образом: *промышленный робот — это «автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций»*. При этом манипулятор определяется

как «управляемое устройство или машина для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека, при перемещении объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом». В примечании указывается, что «перепрограммируемость — свойство заменять управляющую программу автоматически или при помощи человека-оператора». Отмечается также, что при перепрограммировании может изменяться последовательность движений или величины перемещений.

Отметим основные определения. Во-первых, обязательным считается наличие манипулятора, выполняющего трудовые действия подобно руке человека. Таким образом, промышленный робот обязательно является *манипуляционным*. Во-вторых, работа должна происходить *автоматически, по программе*. В-третьих, обязательно должно предусматриваться *перепрограммирование*, т. е. изменение программ (вручную или автоматически). Есть много автоматических машин, работающих как самостоятельно, так и в составе автоматических линий, иногда достаточно сложных, но работающих по одной жесткой программе (которая задается, например, кулачками на распределительном валу); такие машины нельзя считать роботами. Отметим, что число степеней подвижности не регламентируется, указывается лишь, что их должно быть несколько, т. е. не менее двух. Не оговаривается назначение промышленных роботов, имеется в виду, что в производственных процессах они могут выполнять самые разные функции. Различными могут быть отрасли промышленности: машиностроение, металлургия, приборостроение, электронная, легкая и пищевая, горная и нефтедобывающая. Есть области, которые не относятся к промышленности: космическая техника, океанотехника, сельскохозяйственное производство. Роботы, ориентированные на эти области применения, примыкают к промышленным и обычно рассматриваются вместе с ними.

Виды промышленных роботов устанавливаются по степени или уровню специализации. *Специальный* робот приспособлен для работы с конкретной моделью технологического оборудования, *специализированный* — для работы с группой моделей, сходных по назначению и конструкциям, *универсальный* — для работы с различными группами моделей (вместо термина «универсальный» иногда используется термин «многоцелевой»). По характеру выполняемых функций промышленные роботы разделяются на вспомогательные и технологические.

Вспомогательные роботы осуществляют только перемещения объектов (изделий, заготовок, инструмента, оснастки). При обслуживании технологического или другого вспомогательного оборудования вспомогательные роботы выполняют операции типа «взять» — «перенести» — «положить» или «установить». Простейшие вспомогательные промышленные роботы иногда называют роботами-перекладчиками. Вспомогательными также являются ро-

боты-штабелеры, обслуживающие склады, и транспортные роботы, перемещающие объекты на относительно большие расстояния.

Технологические промышленные роботы выполняют технологические операции сварки, окраски, шлифования и т. д. По выполняемым функциям такие роботы принципиально не отличаются от соответствующих технологических установок (иногда даже от станков, как при шлифовании). Нередко современные технологические установки также имеют перепрограммируемые устройства программного управления. Отнесение технологического оборудования к роботам практически определяется конструктивным сходством с другими промышленными роботами.

В качестве основных составных частей промышленного робота выделяются: *исполнительное устройство*, выполняющее все его двигательные функции (в него входят манипулятор и, возможно, устройство передвигания типа тележки), *устройство управления*, вырабатывающее управляющие сигналы на манипулятор, и *рабочий орган* (для вспомогательных роботов — захватное устройство). Иногда еще дополнительно выделяют *исполнительную систему*, включающую совокупность датчиков на манипуляторе, и *устройство внешних связей*. Таким образом, промышленный робот — это соединение нескольких устройств и систем, манипулятор представляет собой только одно из устройств. Раньше, до начала 1980-х годов, в официальных документах промышленные роботы не назывались роботами, они назывались автоматическими манипуляторами с программным управлением или перепрограммируемыми автоматическими манипуляторами промышленного применения. Теперь признано, что называть роботы манипуляторами неправильно, поскольку манипулятор всегда представляет собой только составную часть робота.

Большая группа терминов и определений в робототехнике относится к принципам, способам и системам управления. Основным является *программное управление*, которое определяется как автоматическое управление исполнительным устройством по заранее введенной управляющей программе. При этом сама управляющая программа представляет собой совокупность команд, определяющих работу робота, и, возможно, его взаимодействие с обслуживаемым оборудованием. Программному (или, как иногда говорят, жесткопрограммному) управлению противопоставляют *адаптивное управление*, при котором предусматривается автоматическое изменение управляющей программы в зависимости от контролируемых параметров состояния самого робота, другого оборудования и различных объектов. Различают три основных вида программного управления: цикловое, позиционное и контурное. При самом простом — *цикловом* управлении программируется только последовательность движений, а положения подвижных частей задаются упорами или путевыми переключателями. При *контурном* управлении программируется вся траектория движения и скорос-

ти перемещений. Вопросам программного управления роботами посвящена гл. 8.

Процесс составления, ввода и отладки управляющей программы называется *программированием*. Виды и способы программирования рассматриваются также в гл. 8. Сейчас лишь отметим, что программирование и перепрограммирование могут выглядеть почти так же, как и наладка и переналадка станка-автомата, но могут выполняться так же, как и программирование вычислительных машин. После ввода управляющей программы она запоминается в запоминающем устройстве. *Воспроизведением* управляющей программы называется считывание ее из запоминающего устройства и преобразование ее в электрические сигналы, поступающие потом в системы приводов. *Исполнением* (или, как говорили раньше, *отработкой*) управляющей программы называется совершение движений приводами промышленного робота в соответствии с этой программой. Эти и многие другие термины, используемые в робототехнике, являются привычными в смежных областях.

§ 2.3. СТАНДАРТЫ В РОБОТОТЕХНИКЕ

При проектировании ПР необходимо хорошо знать базовые нормативные документы в области робототехники. На роботы распространяются многочисленные общетехнические стандарты. Но есть более двух десятков специализированных государственных стандартов (ГОСТ), которые являются действующими и подтверждены в «Указателе стандартов» 2000 г., все они после номера имеют общий заголовок «Роботы промышленные», но не объединены в отдельную серию. Эти стандарты были задуманы как целая система, но единый план их создания был реализован лишь частично.

Ниже приведен перечень этих стандартов. Сначала перечислены стандарты, относящиеся к ПР в целом, а затем — к их отдельным устройствам.

ГОСТ 30097—93. Роботы промышленные. Системы координат и направления движений.

ГОСТ 25204—82. Роботы промышленные. Ряды номинальной грузоподъемности.

ГОСТ 25685—83. Роботы промышленные. Классификация.

ГОСТ 4.480—87. СПКП. Роботы промышленные. Номенклатура основных показателей.

ГОСТ 26050—89. Роботы промышленные. Общие технические требования.

ГОСТ 30286—94. Роботы промышленные. Представление характеристик.

ГОСТ 26054—85. Роботы промышленные для контактной сварки. Общие технические условия.

ГОСТ 27387—87. Роботы промышленные для контактной точечной сварки. Основные параметры и размеры.

ГОСТ 26056—84. Роботы промышленные для дуговой сварки. Общие технические условия.

ГОСТ 26058—85. Роботы промышленные. Гидродвигатели исполнительных устройств. Типы, основные параметры и присоединительные размеры.

ГОСТ 26059—89. Роботы промышленные. Пневмодвигатели исполнительных устройств. Типы, основные параметры и присоединительные размеры.

ГОСТ 26063—84. Роботы промышленные. Устройства захвата. Типы, номенклатура основных параметров, присоединительные размеры.

ГОСТ 26662—85. Роботы промышленные агрегатно-модульные. Классификация исполнительных модулей.

ГОСТ 26059—85. Роботы промышленные агрегатно-модульные. Основания, типы, основные размеры.

ГОСТ 27351—87. Роботы промышленные агрегатно-модульные. Исполнительные модули. Общие технические условия.

ГОСТ 27331—89. Роботы промышленные агрегатно-модульные. Исполнительные модули. Присоединительные размеры.

ГОСТ 27312—87. Роботы промышленные агрегатно-модульные. Исполнительные модули угловых перемещений. Типы и основные параметры.

ГОСТ 27350—87. Роботы промышленные агрегатно-модульные. Исполнительные модули линейных перемещений. Типы и основные параметры.

ГОСТ 27697—88. Роботы промышленные. Устройства циклового, позиционного и контурного программного управления. Технические требования и методы испытаний.

ГОСТ 27696—88. Роботы промышленные. Интерфейсы. Технические требования.

ГОСТ 28732—90. Роботы промышленные. Требования к организации внешних связей с устройствами программного управления.

ГОСТ 26053—84. Роботы промышленные. Правила приемки. Методы испытаний.

ГОСТ 12.2.072—82. Роботы промышленные, роботизированные технологические комплексы и участки. Общие требования безопасности.

Всего к настоящему времени действующими являются 23 государственных стандарта.

§ 2.4. НОМЕНКЛАТУРА ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Данные о любом выпускаемом промышленностью промышленном роботе приводятся в паспорте и техническом описании. В паспорте содержится данные, которые нужны в первую очередь тем потребителям, кто будет подбирать робот по своим потребно-

стям и возможностям. Чтобы данные всегда представлялись в одном и том же наборе и давали максимально полное представление о работе, номенклатура основных показателей стандартизована. В государственном стандарте (ГОСТ 4480 — 87) показатели делятся на две группы: качественные (общие сведения) и количественные (технические характеристики). В число общих сведений входит: выполняемая функция (например, обслуживание токарных станков, точечная сварка), число степеней подвижности (с указанием, сколько из них переносные и сколько ориентирующие), кинематическая схема с обозначением вида степеней подвижности (поступательных и вращательных), вид привода (пневматический, гидравлический, электрический, комбинированный), способ управления, способ программирования, вид рабочего органа (схват, сварочные клещи, горелка, распылитель и т. п.), способ его замены (вручную или автоматически), исполнение (обычное, пылевлагозащищенное).

Дадим пояснения к содержанию перечисленных показателей. Когда указывается выполняемая функция, то в первую очередь отмечается, вспомогательный робот или технологический. Если робот вспомогательный специальный или специализированный, указываются конкретные модели оборудования (марки станков), с которыми робот может работать, и это гарантируется. При этом возможно, что робот может работать и с другим оборудованием, без всяких переделок или с некоторыми доделками. Иногда указывается, что робот является универсальным, при этом типы оборудования не перечисляются. Это обычно означает, что проектировщики полагают, что вопросы применимости данного промышленного робота следует решать по месту использования. Бывает так, что для применения робота на определенном рабочем месте необходима более или менее существенная переделка. Чтобы избавить потребителей от необходимости переделок, проектируют и выпускают модульные промышленные роботы, модификации которых собираются из модулей в различных сочетаниях (подробнее см. в гл. 3). Обычно модульные промышленные роботы (точнее, модульные комплекты) характеризуются наиболее широкой универсальностью.

Кинематическая схема определяет основные возможности манипулятора в смысле достижимости точек пространства и простоты выполнения различных движений (подробнее см. в гл. 3). Часто в паспорте или описании приводится не кинематическая схема, а название системы координат, в которой работает манипулятор (например, прямоугольная, цилиндрическая или сферическая). Такого указания недостаточно, чтобы изобразить кинематическую схему, но определенные представления о манипуляторе это дает.

Наибольшее разнообразие требований зачастую предъявляется к рабочему органу (в первую очередь, к захватному устройству). Поэтому многие вновь проектируемые роботы снабжают сменны-

ми рабочими органами (в частности, схватами). Степень разнообразия в наборе рабочих органов и простота их смены очень важны при практическом использовании. Вид исполнения робота важен при нанесении краски и других покрытий (распыленная краска оседает на конструкции и может быть заданное в подвижных соединениях) и при работе с печами (возможен перегрев конструкции и элементов приводов).

В соответствии с ГОСТ 4480—87 в документацию всех видов на промышленные роботы включаются следующие технические характеристики.

1. Номинальная грузоподъемность. Для вспомогательных промышленных роботов она определяется как «наибольшее значение массы предметов производства или технологической оснастки, включая массу захватного устройства, при которой гарантируется их удержание и обеспечение установленных значений эксплуатационных характеристик» (ГОСТ 4480—87). Однако до сих пор в паспортах роботов и справочных материалах грузоподъемность часто относят только к объекту, без схвата.

В приведенном определении грузоподъемности не уточняется, какие именно эксплуатационные характеристики должны сохраняться установленные значения. Важны скорости перемещений (при больших массах усилий, создаваемых двигателями, недостаточно для выдерживания требуемых средних скоростей), показатели долговечности (при увеличении нагрузок увеличивается износ). В настоящее время грузоподъемность часто не определяется экспериментально, а назначается проектировщиками и изготовителями весьма приблизительно. Если манипулятор имеет несколько рук, грузоподъемность указывается для каждой из них.

2. Максимальная абсолютная погрешность позиционирования. Погрешность позиционирования рабочего органа манипулятора определяется как линейное отклонение определенной точки (условного центра) рабочего органа от положения, задаваемого программой или специальными устройствами (например, упорами, концевыми выключателями). Погрешность позиционирования представляет собой вектор, который характеризуется величиной (модулем) и направлением. Когда говорится просто о погрешности позиционирования, то учитывается только величина (модуль) вектора, но не учитывается его направление. Погрешности могут быть существенно различными в разных точках рабочей зоны. Когда говорится о максимальной погрешности позиционирования, то имеется в виду, что во всех точках погрешности не могут быть больше этой максимальной погрешности. Экспериментальное определение погрешностей в отдельных точках требует точных средств измерений; определение максимальных погрешностей представляет собой довольно громоздкое исследование. Опыт показывает, что данные по точности, приводимые в паспортах, часто не подтверждаются, реальные погрешности могут быть раза в два

выше. Заметим, что нередко важны не только линейные, но и угловые погрешности (погрешности ориентирования). К сожалению, в настоящее время данные по ним в литературе не приводятся.

3. Геометрические характеристики рабочей зоны. Рабочая зона представляет собой пространство, в котором может находиться рабочий орган при работе робота. Помимо рабочей зоны вводятся другие близкие геометрические понятия: зона обслуживания (пространство, в котором рабочий орган выполняет свои функции в соответствии с назначением робота), рабочее пространство (пространство, в котором могут находиться подвижные звенья манипулятора при работе робота). В рабочем пространстве могут находиться любые части робота (не только рабочий орган), рабочее пространство должно быть свободным от посторонних объектов. Рабочая зона может несколько отличаться от зоны обслуживания. Рабочие зона и пространство представляются в виде объемных тел — параллелепипеда, цилиндра, шара или частей этих тел. Простейшими геометрическими характеристиками рабочей зоны являются ее габаритные размеры. Если рабочая зона симметрична относительно оси x (рис. 2.7), то один из габаритных размеров (в плоскости, перпендикулярной к оси) равен удвоенному вылету. Поэтому максимальный вылет, приводимый в паспортах и каталогах, можно считать характеристикой рабочей зоны.

4. Показатели различно по степеням подвижности: максимальное перемещение (линейное или угловое), время перемещения из одного крайнего положения в другое, максимальная скорость (линейная или угловая), максимальное ускорение (линейное или угловое), максимальная абсолютная погрешность, число программируемых точек (для систем циклового и позиционного управления). Задание перечисленных показателей различно по степеням подвижности очень удобно при расчете и контроле показателей. Знание пределов перемещений необходимо при планировании расстановки оборудования и робота, время перемещения необходимо для расчета времени цикла и, в конечном счете, производительности. Максимальные скорости хорошо характеризуют технический уровень (в смысле быстроты действия). Максимальные ускорения (они получают при включении двигателя или при торможении подвижной части) используются для расчета запасов несущей способности захватных устройств и иногда запасов прочности наиболее напряженных элементов конструкций. Погрешности позиционирования для отдельных степеней подвижности могут использоваться как исходные данные для расчета погрешностей манипулятора в целом.

5. Показатели захватного устройства (для вспомогательных промышленных роботов): усилие захватывания, время захватывания,

время отпускания, характерные предельные размеры захватываемого предмета (например, минимальный и максимальный диаметры цилиндрического предмета). Если робот имеет набор сменных схватов, то указываются общие пределы для всех этих схватов.

6. Показатели устройства управления: число одновременно управляемых движений по степеням подвижности (в ряде случаев допускается только последовательное, друг за другом, движение по степеням подвижности), число каналов связи с внешним оборудованием (по этим каналам подаются сигналы в устройство управления и на оборудование), параметры энергопитания (для роботов с пневмоприводом — давление и расход воздуха, для роботов с электроприводом — напряжение и потребляемая мощность).

7. Показатели надежности: установленная наработка на отказ, установленный срок службы до капитального ремонта и до списания. Заметим, что часто реальные показатели надежности оказываются ниже указанных в паспорте; относительно низкая надежность отечественных промышленных роботов является одним из главных их недостатков.

8. Масса и габаритные размеры. Эти показатели обычно указываются различно для манипулятора и устройства управления. Габаритные размеры обычно приводятся для сложного состояния, приспособленного для транспортирования.

Если робот обладает какими-либо существенными особенностями, в паспорте или описании эти особенности указываются отдельно. Из большого числа показателей выделяются основные, по которым подбирается робот для работы на определенном рабочем месте. Главным параметром считается грузоподъемность. Именно в порядке повышения грузоподъемности промышленные роботы перечисляются в каталогах.

Для промышленных роботов установлены следующие группы по грузоподъемности: менее 1 кг — сверхлегкие; 1 — 10 кг — легкие; 10 — 200 кг — средние; 200 — 1000 кг — тяжелые; от 1000 кг и выше — сверхтяжелые. Во всех документах могут указываться не любые значения грузоподъемности, а только выбранные из параметрического ряда, записанного в ГОСТ 25204—82. Этот ряд (в кг) следующий: 0,08; 0,16; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250 и т. д.

Геометрические характеристики, представляющие собой линейные и угловые величины (вылет, ходы и пр.), также важны для правильного выбора робота. Установлены параметрические ряды для максимальных линейных и угловых перемещений. Числа этого ряда (в мм) следующие: 12; 20; 32; 50; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 1800; 2000. Числа ряда для углов (в град.) следующие: 15; 30; 45; 60; 90; 120; 180 и т. д. Параметрический ряд установлен также для максимальной абсолютной погрешности позиционирования (в мм): 0,05; 0,1; 0,16; 0,25;



Рис. 2.7

0,5; 1,0; 1,6; 2,5; 5,0; 10; 20. Реальные значения перемещений могут отличаться от чисел, заданных параметрическим рядом, округление при этом производится в меньшую сторону (это будет означать, что действительное перемещение не меньше указанного). Наоборот, реальные значения погрешностей округляются в большую сторону (действительные максимальные значения погрешностей не больше указываемых). Параметрические ряды для других показателей не стандартизованы, однако в документах обычно приводятся округленные значения. Способ округления (сверху или снизу) определяется смыслом показателя. Значения скорости округляются в меньшую сторону, а ускорения — в большую. Последнее определяется необходимостью иметь гарантии того, что силы инерции не превышают определенных значений.

Показатели быстройдействия (время перемещений, захватывания и отпускания) зависят преимущественно от вида привода (двигателей), а при одном и том же виде привода изменяются не в очень широких пределах. Так, для наиболее быстрого — пневматического — привода значения времени перемещения могут быть существенно меньше. Показатели устройств управления в паспорте промышленного робота обычно приводятся в краткой форме, а более полно даются в отдельном описании устройства управления (подробнее см. в гл. 8). Тип и возможности устройства управления очень важны при использовании промышленных роботов в гибких производственных системах, когда необходимо встраивать устройство управления в общую систему управления линией или участком. Также отдельно устанавливаются показатели рабочих органов технологических роботов (например, расход краски для распылителей окрасочных роботов, максимальная сила тока электросварочного устройства и т. п.).

Необходимо отметить, что выбор робота по номенклатуре основных показателей часто не дает правильного ответа на вопрос о возможности его применения в конкретных условиях. Робот, подходящий по грузоподъемности, кинематической схеме, виду рабочего органа, возможностям устройства управления, вылету и перемещению по степеням подвижности (остальные показатели обычно не являются решающими), может оказаться хорошим или плохим, удобным в эксплуатации или неудобным. При этом могут быть решающими такие факторы, которые не находят прямого отражения в номенклатуре показателей, в частности, обоснованность конструктивных решений отдельных узлов, надежность крепления наиболее ответственных деталей, доступность основных узлов для осмотра, возможность быстрой смены блоков в случае их отказа и пр. Поэтому специалисты, осуществляющие внедрение ПР, должны помимо формальных паспортных данных о роботах знать основные особенности конструкций манипуляторов, особенности обслуживания и ремонта. Иметь достаточно полные знания о выпускаемых промышленных роботах гораздо труднее, чем, ска-

жем, об автомашинах, поскольку типы роботов весьма разнообразны и их производят многие организации, различающиеся своими традициями и техническим уровнем. Выход заключается в том, чтобы уметь быстро проводить анализ совместно документации и самих реальных ПР.

§ 2.5. ТИПОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

При сопоставлении промышленных роботов по основным показателям нужно представить, каковы их типичные значения, т. е. каков «средний» робот. По отклонениям характеристик любого рассматриваемого робота от характеристик «среднего» (в ту или иную сторону) можно сделать выводы относительно качества робота. Положение, однако, осложняется тем, что схемы манипуляторов разнообразны, а для каждой схемы соотношения между основными параметрами оказываются своими, отличными от аналогичных соотношений для других схем. Поэтому нужно сначала выделить характерные типы, а затем для них по отдельности определять типовые представители или средние закономерности. Первый, наиболее распространенный тип представляет напольный вспомогательный промышленный робот с одной горизонтальной выдвижной рукой и с вертикальной колонной, вокруг оси которой осуществляется поворот руки. Такие роботы — сверхлегкие и легкие — обычно имеют пневмопривод и четыре степени подвижности (три переносные и одну ориентирующую). Робот работает в цилиндрической системе координат (рис. 2.8), устройство управления — цикловое.

Для серийных ПР были проанализированы соотношения между разными параметрами. Главным параметром считалась грузоподъемность, определяемая номинальным значением массы m предмета (в отличие от требований стандартов в каталоге приводится не

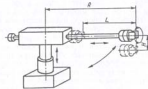


Рис. 2.8

ТАБЛИЦА 2.1

Параметр	Единица измерения	Модели промышленных роботов					
		«Рем-01»	МП-9С	РБТ-5	МП-4	«Рем-1»	МАН-100П
m	кг	0,1	0,2	2,5	5	10	100
M		30	70	200	350	300	1200
R	мм	350	350	1200	1100	1260	1600
L		150	150	400	600	600	800
H		50	30	40	100	100	300

суммарная масса схвата и предмета). Зависимыми считаются следующие параметры: радиус рабочей зоны (вылет) R , горизонтальный ход (при выдвижении руки) L , вертикальный ход H , масса манипулятора в целом M . Сводные данные по ряду моделей роботов в порядке возрастания грузоподъемности приведены в табл. 2.1. Как и следовало ожидать, с увеличением грузоподъемности возрастают все геометрические параметры. Однако эта закономерность проявляется в среднем и имеются исключения, когда большим значениям грузоподъемности соответствуют меньшие значения вылета и ходов. Геометрические параметры возрастают сначала более быстро, а затем медленно. Практически предельными следует считать значения: вылета 2,0–2,5 м, горизонтального хода 1,0–1,3 м, вертикального хода — 0,5 м. В среднем получается, что горизонтальный ход в два раза меньше вылета, а вертикальный ход в два — четыре раза меньше горизонтального. Однако следует иметь в виду, что такие соотношения типичны для манипуляторов с так называемым консольным механизмом подъема (как на рис. 2.8). Для роботов очень малой грузоподъемности (иногда их называют мини-роботами) ходы могут быть очень малы — не многие десятки миллиметров.

Масса манипулятора изменяется в широких пределах: от нескольких десятков килограммов (сверхлегкие роботы) до 1 т и даже более, но обычной является масса в несколько сотен килограммов. Для самых различных подъемных и транспортных средств важным считается относительный показатель: отношение массы полезного груза к массе самого средства. Для большинства промышленных роботов значения этого показателя очень малы — не выше 5 %, а в среднем — 3 %. Для мини-роботов этот показатель еще меньше. Большая масса типового промышленного робота, в десятки раз большая массы переносимого объекта, объясняется традициями машиностроения, а также тем, что робот рассматривается как грубое оборудование, которое не должно ломаться при грубом обращении, при случайных ударах, при падениях и пр. Поэтому сверхлегкие роботы рассчитываются не на малую силу веса предмета, а на силу рабочего. Если бы, по крайней мере, в некоторых производствах отношение к роботам было, как к приборам, их масса могла бы быть значительно меньше при той же грузоподъемности.

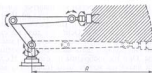


Рис. 2.9

Второй тип представляет напольный вспомогательный или технологический промышленный робот с шарнирной (складной) рукой (оси шарниров горизонтальны). Обычно такой робот (рис. 2.9) имеет пять степеней подвижности (три переносные и две ориентирующие), устройство управления — позиционное или контурное, на основе числового программного управления (ЧПУ). Как и ранее, главным параметром считается грузоподъемность, зависимость от параметра: радиус рабочей зоны R и масса манипулятора M . Сводные данные по ряду моделей роботов приведены в табл. 2.2. При одной и той же грузоподъемности радиус рабочей зоны обычно получается больше, чем для роботов, работающих в цилиндрической системе координат, и часто превышает 2 м. Диапазон грузоподъемностей для роботов этого типа не очень широк: преимущественно 5–80 кг. Масса манипулятора обычно составляет несколько сотен килограммов, отношение грузоподъемности к массе манипулятора также составляет единицы процентов. Большинство роботов второго типа имеют гидравлический и электро-механический приводы.

К третьему типу относятся портальные промышленные роботы, имеющие одну или несколько качающихся рук (см. схему на рис. 3.24). Обычно они имеют одну межпозиционную степень подвижности (перемещение каретки по траверсе), каждая рука имеет три степени подвижности (две переносные и одну ориентирующую). Портальные роботы могут обслуживать по одной или по нескольким единицам оборудования, поставленным в ряд. Грузоподъемность портальных роботов изменяется не в очень широких пределах — от 20 до 200 кг, устройство управления обычно цикловое, привод — электро-механический. Основным геометрическим

ТАБЛИЦА 2.2

Параметр	Единица измерения	Модели промышленных роботов				
		DR-5E	ASEA	TYP-10	PR-210	PR-31E
m	кг	5	6	10	15	32
M		200	125	280	550	1340
R	мм	700	1140	1200	1300	1400

параметром является ход каретки по траверсе, он изменяется от 3 м (когда робот обслуживает один станок) до 16 м (когда робот обслуживает несколько станков). Поперечные размеры рабочей зоны изменяют от 1,0 до 2,5 м. Основная доля массы робота приходится на портал, обычно его масса составляет несколько тонн.

В четвертый тип должны быть выделены встроены промышленные роботы. Они разнообразны по схемам. Их характерными особенностями являются малые ходы (поскольку манипулирование осуществляется в непосредственной близости от рабочей зоны) и значительно меньшие массы (манипулятор обычно крепится к станине станка и не имеет собственного основания).

Относительно других технических характеристик необходимо дать следующие пояснения. Максимальные значения абсолютных погрешностей определяются преимущественно назначением промышленных роботов. Наибольшие значения погрешностей (до 10 мм) допускаются для окрасочных роботов. Большинство вспомогательных и технологических роботов имеют максимальные значения погрешностей от нескольких десятых до 2–3 мм. Наибольшую точность должны иметь сборочные роботы; согласно паспортным данным, погрешности некоторых моделей не превышают 0,02–0,05 мм, что, по-видимому, близко к пределу технических возможностей на настоящее время.

Линейные скорости перемещений (средние) изменяются в довольно узких пределах — от 0,3 до 1,0 м/с. Они выше для роботов с пневмоприводом и ниже для роботов с электроприводом. Специальными техническими средствами удается повысить скорость до 4 м/с, но не в серийных, а в экспериментальных моделях. Значения угловых скоростей зависят от вида степеней подвижности: для переносных степеней подвижности они составляют обычно 30–90 град./с, а для ориентирующих — 180 град./с и больше. Максимальные значения ускорений в паспортах и технических описаниях обычно не приводятся, хотя это требуется по стандарту. Результаты экспериментальных исследований, проведенных в разных организациях с различными моделями роботов, показывают, что наибольшие значения получаются для роботов с пневмоприводом. При позиционировании по упорам (с демпферами) максимальные значения ускорений могут достигать 100–150 м/с², причем значения ускорений сильно зависят от настройки демпфера. Подобные большие значения ускорений неприятны тем, что схват и некоторые другие нагруженные элементы конструкции приходится рассчитывать на динамические нагрузки, не менее чем в 20 раз превышающие силы веса. Для гидравлического и электромеханического приводов, особенно при контурном управлении, максимальные значения ускорений оказываются значительно меньше.

Параметры питания роботов определяются типом привода. Для роботов с пневмоприводом давление воздуха составляет номинально

0,5 или 1,0 МПа; обычно требуется, чтобы работоспособность сохранялась при снижении давления на 20 или даже 30 %. Промышленные роботы с электромеханическим приводом питаются непосредственно от силовой сети переменного тока напряжением 220 или 380 В. Роботы с гидроприводом обычно имеют самостоятельную гидростанцию, насос которой приводится в движение электродвигателем. Некоторые роботы требуют двойного питания (сжатый воздух и электричество). Показатели надежности, указываемые в документации, обычно существенно отличаются от реальных. Практически средняя наработка на отказ составляет десятки часов, редко — немногие сотни. Ставится и решается задача повышения средней наработки на отказ до 1000 ч и более.

ГЛАВА 3

СТРУКТУРНЫЕ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ МАНИПУЛЯТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

§ 3.1. СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРЫ

Наглядное представление о манипуляторе ПР и возможностях его движений дает структурная схема. На структурной схеме условными обозначениями показаны стойка (неподвижное основание), подвижные звенья, кинематические пары с указанием их вида и взаимного расположения. Схема изображает как бы скелет механизма. Со структурной схемы обычно начинается проектирование механизма манипулятора ПР. Но схема нужна не только проектировщикам. При выборе ПР по чертежам или образцам важно увидеть схему в готовой конструкции. Именно по схеме строятся эскизы растановки оборудования.

В механизмах манипуляторов используются практически только одноподвижные кинематические пары: *поступательные (линейные)* и *вращательные (поворотные)*. В дальнейшем на схемах они изображаются так, как это показано на рис. 3.1, а, б, соответственно. Каждой степени подвижности при этом соответствует одна кинематическая пара. Как отмечалось ранее, степени подвижности исполнительных устройств ПР делится на три группы: *межпозиционные*, *переносные* и *ориентирующие*. *Межпозиционную степень подвижности* обычно реализует устройство передвигания типа тележки, перемещающейся по рельсовому пути по полу или по рельсу портала; диапазон перемещений при этом составляет несколько метров. Если ПР имеет устройство передвигания, то оно обычно имеет одну степень подвижности (поступательную).

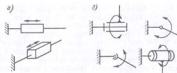


Рис. 3.1

Переносные и ориентирующие степени подвижности реализуются в манипуляторе. Кинематические пары переносных степеней подвижности могут быть поступательными или вращательными, соответствующие линейные перемещения обычно составляют от 0,2 до 1,5 м. Кинематические пары ориентирующих степеней подвижности обязательно являющиеся вращательными. Разделение степеней подвижности на ориентирующие и переносные иногда является условным, поскольку при вращательных переносных движениях одновременно изменяется и ориентация.

Степени подвижности удобно рассматривать по группам: отдельно переносные и отдельно ориентирующие. Когда рассматриваются только переносные степени подвижности, переносимый объект можно считать точкой. Общий вид манипулятора и его возможности определяются переносными степенями подвижности, поэтому сначала будем учитывать только их. При классификации схем важным показателем является число степеней подвижности, вид кинематических пар и расположение их осей относительно друг друга и определенных направлений.

Ориентацию осей кинематических пар будем определять в определенным образом выбранной прямоугольной системе координат. Ось z направлена по вертикали вверх. Направления осей x и y , лежащих в горизонтальной плоскости, могут иногда быть произвольными, но обычно их связывают с расстановкой обслуживаемого оборудования или с характерными плоскостями самого механизма манипулятора. Если механизм манипулятора, как это часто бывает, имеет вертикальную плоскость симметрии, то ось x направляется именно в этой плоскости; тогда ось y по смыслу является боковой. Если можно считать условно заданной левую вертикальную плоскость обслуживаемого оборудования, то ось x задается перпендикулярно к ней; ось y при этом также является боковой.

Далее каждая схема будет иметь свое буквенно-цифровое обозначение. Каждая кинематическая пара будет обозначаться тремя символами: номером пары, буквой П или В (П означает, что пара поступательная, В — вращательная) и буквой x , y или z , показывающей, по какой из осей направлена ось кинематической пары.

Для рассматриваемой схемы такие буквенно-цифровые обозначения кинематических пар выписываются друг за другом, начиная от стойки (неподвижного основания). Как отмечалось ранее, обычно отдельно рассматриваются схемы только для переносных степеней подвижности, но иногда в схему включают также и межпозиционную степень подвижности.

Манипуляторы всех известных промышленных роботов имеют не менее двух переносных степеней подвижности, подробные классификации построены для случаев двух или трех переносных степеней подвижности. Все возможные варианты схем можно получить, перебирая их в определенном порядке, по определенному правилу, однако далее рассматриваются в основном только те схемы, которые представляют практический интерес и нашли достаточно широкое применение.

§ 3.2. КРИТЕРИИ СРАВНЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ

Главными критериями сравнения кинематических схем являются их достоинства и недостатки. Ниже перечислены факторы, которые следует учитывать при сравнении схем самих по себе и конструкций, выполняемых по этим схемам.

1. *Степень распространенности и «привлекательности» схем в ПР и в другом оборудовании.* Предпочтение следует отдавать тем схемам, которые нашли широкое применение и хорошо зарекомендовали себя. Однако иногда традиционные схемы могут оказаться устаревшими.

2. *Размеры и объем рабочей зоны при заданной ограниченной длине звеньев.* Преимущества имеют схемы с вращательными кинематическими парами. Это наглядно показано на рис. 3.2, а, б: при одинаковой длине звеньев размер рабочей зоны на второй схеме (рис. 3.2, б) в четыре раза больше, чем на первой (рис. 3.2, а). Если же заданы размеры рабочей зоны, то манипулятор

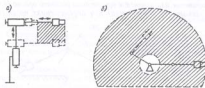


Рис. 3.2

с вращательными кинематическими парами оказывается более компактным.

3. *Размеры и объем рабочего пространства, т. е. пространства, в которое могут попадать подвижные части механизма.* Для схемы с вращательными кинематическими парами рабочее пространство практически совпадает с рабочей зоной. Для схемы с поступательными парами рабочее пространство значительно больше, чем рабочая зона. Схемы с вращательными парами дают экономичное рабочее пространство.

4. *Общий вид зоны, которая при выполнении основного рабочего движения должна оставаться свободной, препятствия в этой зоне должны отсутствовать.* При поступательном прямолинейном движении звена (руки) должен оставаться свободным узкий коридор (рис. 3.3, а), при повороте — гораздо более широкая зона (рис. 3.3, б). Поэтому в тех случаях, когда необходимо обслуживать оборудование с узкой рабочей зоной (прессы, печи), преимущества имеют схемы, по крайней мере, с одной поступательной степенью подвижности (с выдвигной рукой).

5. *Размер площади, занимаемой основанием манипулятора на полу (если ПР наполняемый).* Основание манипулятора может иметь меньшую площадь, если первой является кинематическая пара (поступательная или вращательная) с осью, направленной по оси z . Если ПР является подвесным, то указанный фактор не имеет значения.

6. *Вид траекторий перемещения объекта при движении по каждой из степеней подвижности.* Предпочтительными являются прямолинейные траектории (например, при установке заготовки в патрон станка, при взятии детали из гнезда тары, при автоматической сборке), которые образуются при поступательных кинематических парах.

7. *Простота программирования движений рабочих органов технологических ПР.* Известно, что проще всего программирование осуществляется в прямоугольных координатах, т. е. для ПР со всеми поступательными степенями подвижности. Именно такую кинематику обычно имеет традиционное технологическое оборудование (станки).

8. *Сохранение или изменение ориентации рабочего органа (в частности, захватного устройства) при перемещениях по степеням*

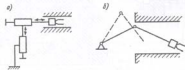


Рис. 3.3

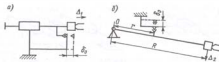


Рис. 3.4

подвижности. При каких-либо перемещениях желательно, чтобы ориентация рабочего органа оставалась неизменной, т. е. чтобы рабочий орган перемещался параллельно самому себе. Если это не обеспечивается, то механизмы ориентирующих степеней подвижности (которые пока не рассматриваются), должны задавать компенсирующие повороты (на ту же величину в противоположную сторону). Сохранение ориентации при любых переносных движениях имеет место только тогда, когда все степени подвижности — поступательные. Чем больше вращательных степеней подвижности, тем большее число ориентирующих степеней подвижности должно принимать участие в осуществлении компенсирующих вращений. Однако применение параллелограммных шарнирно-рычажных механизмов типа пантографа позволяет сохранять ориентацию рабочих органов при их перемещении.

9. *Погрешность положения рабочего органа, обусловленная погрешностью путевого датчика, упора или измерительного преобразователя.* Как правило, поступательные пары дают погрешности положения рабочего органа на порядок меньше, чем вращательные пары. Объясняется это следующим образом. Пусть δ_1 — погрешность путевого упора. Тогда для поступательной степени подвижности погрешности положения рабочего органа $\Delta_1 = \delta_1$ (рис. 3.4, а, б). Для вращательной степени подвижности расстояние r упора до точки поворота O значительно меньше расстояния R рабочего органа до точки поворота. Поэтому погрешность положения рабочего органа

$$\Delta_2 = (R/r)\delta_1$$

оказывается значительно больше (погрешности положения упора в обоих случаях считаются одинаковыми).

10. *Степень разнообразия кинематических пар по манипулятору.* В конструкции по возможности должны использоваться только одинаковые кинематические пары. Это позволяет унифицировать узлы и приводы.

11. *Технологичность изготовления и сборки узлов, реализующих кинематические пары.* Как правило, конструкции с вращательными парами являются более технологичными. Проектирование, изготовление деталей, сборка и регулировка подшипниковых уз-



Рис. 3.5

лов значительно проще, чем направляющих с подвижными каретками.

12. *Возможность построения вариантов как с нижним расположением (напольных), так и с верхним расположением (подвесных) манипуляторов.* Иногда требуется установка манипулятора на вертикальной плоскости. Такое разнообразие допускают не все схемы.

13. *Возможность ужесточения конструкций путем замены консолей двухпарными элементами.* Для поступательных степеней подвижности это, как правило, легко выполнимо (рис. 3.5, а, б). Для вращательных степеней подвижности устранение консолей возможно только в некоторых случаях.

14. *Массогабаритные характеристики.* Конструкции манипуляторов с поступательными кинематическими парами обычно более громоздкие и тяжелые, чем конструкции с вращательными парами.

15. *Степень согласованности с двигателями, приводящими в движение звенья.* Предпочтительной является прямая передача, когда перемещаемое звено жестко связано с выходным звеном двигателя (например, когда выдвинная рука представляет собой шток пневмоцилиндра или качающееся звено поворачивается от поворотного гидродвигателя, находящегося на том же валу). Однако часто необходимы механизмы передач. Наиболее распространенные из передач кратко рассмотрены в § 6.2, там же проведен анализ их достоинств и недостатков.

16. *Значения мощности или работы сил или моментов сил трения.* Эти значения обычно малы, но все же следует иметь в виду, что при одинаковых линейных перемещениях расходуемая мощность или работа вращательных пар обычно оказывается меньше, чем поступательных.

17. *Соотношение между суммарными массами подвижных частей, участвующих в различных движениях.* Желательно, чтобы в более точных движениях (например, при введении заготовки в рабочую зону станка, при установке заготовки в патрон и т. д.), а также в перемещениях на большие расстояния (т. е. в перемещениях по степеням свободы с большими ходами) участвовали меньшие массы.

18. *Порядковое место в кинематической цепи поступательных пар с вертикальной осью и вращательных пар с горизонтальной осью.*

Желательно, чтобы эти пары были возможно ближе к концу цепи. Это объясняется тем, что для пар указанного типа сила тяжести создает дополнительные нагрузки, поскольку при таких движениях происходит вертикальные перемещения. Заметим, однако, что уравнивание звеньев, если оно возможно, отчасти устраняет влияние этого фактора.

19. *Возможность разгрузки, статического и динамического уравнивания механизма манипулятора в целом и его отдельных частей.* Средства разгрузки и уравнивания могут быть пассивными (противопески, пружины) и активными (пневмоцилиндры, специальные электромагнитные устройства). Для поступательных пар уравнивание осуществляется проще и более точно.

20. *Возможность объединения в одном узле механизмов двух или более степеней подвижности.* Наиболее удобным является объединение в одном узле поступательной и вращательной кинематических пар с одной и той же осью.

21. *Возможность защиты подвижных соединений звеньев от пыли, влаги, рабочих жидкостей и пр.* Защита осуществляется с помощью крышек, кожухов и т. д. Для узлов с вращательными парами эти средства более просты и надежны.

Учитывая перечисленные обстоятельства, попытаемся сравнить наиболее распространенные схемы и оценить их применение в ПР различного назначения.

§ 3.3. СХЕМЫ МАНИПУЛЯТОРОВ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

При двух переносных степенях подвижности рабочий орган манипулятора может перемещаться только по определенной поверхности (в частном случае — по плоскости). Конкретный вид этой поверхности особенно важен для технологических ПР, у которых траектория рабочего органа должна покрывать участки поверхностей обрабатываемого изделия. Для вспомогательных ПР важно обеспечить возможность переноса объекта из одной точки в другую, а по какой поверхности перемещается захватное устройство, — не является существенным.

Рассмотрим сначала схему *1Пу2Пх* с двумя поступательными кинематическими парами, оси которых горизонтальны (рис. 3.6, а). Эта схема характерна для различных технологических установок и станков для обработки плоских поверхностей (например, для нанесения покрытий), а также для двухкоординатных станков, графопостроителей, устройств более сложных по кинематике машин. По этой схеме выполняются конструкции манипуляторов технологических ПР, предназначенных для резки (газовой, плазменной, лазерной) плоских листов, раскроя, окраски плоских поверхностей, измерения или контроля парамет-

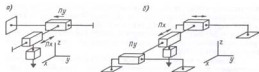


Рис. 3.6

ров отклонения от плоскостности. Рабочая зона представляет собой плоский прямоугольник. Схема реализует плоскую прямоугольную систему координат, программирование движений в которой удобнее всего. Поскольку кинематические пары являются поступательными, схема дает возможность добиться высокой точности. Повышение жесткости обеспечивается заменой консолей двухопорными элементами (рис. 3.6, б). Однако в целом эта конструкция является громоздкой, вызывает трудности защиты направляющих и элементов передач (это особенно важно, если ПР — окрасочный). Большинство ПР с такой схемой имеет электропривод, причем передача движения от вала электродвигателя осуществляется с помощью винтовой передачи (ходовой винт — гайка).

Схема вида $1\Pu2\Pi z$ получается из предыдущей поворотом плоскости, которая была горизонтальной, в вертикальное положение. Манипулятор с такой схемой занимает меньше площади. Однако такое положение рабочей плоскости допустимо не для всех технологических процессов. Привод, который осуществляет вертикальное перемещение, находится в более ти-



Рис. 3.7

желых условиях. Чтобы уменьшить нагрузку на этот двигатель, используют противовес (рис. 3.7, а), который увеличивает массу подвижной части. Очень близкой по свойствам является схема $1\Pi z2\Pi y$ (рис. 3.7, б). Здесь для уравнивания используют два противовеса. При выборе между двумя последними схемами в первую очередь принимается во внимание то, по какой из координат необходимо иметь большие перемещения рабочего органа. Предпочтительно, чтобы больший ход имел место по первой из степеней подвижности. Поэтому схема на рис. 3.7, а приспособлена для тех случаев, когда требуется большой горизонтальный ход; при этом горизонтальные направляющие могут крепиться на специальной неподвижной несущей конструкции.

Схема $1\Pi y2\Pi z$ используется также в манипуляторах вспомогательных роботов-перекладчиков. При этом выдвигающая рука, перемещающаяся вертикально, обычно является консольной, верхняя балка, по которой происходит горизонтальное перемещение, может быть двухопорной или консольной (рис. 3.7, в).

Рассмотрим теперь схему $1Bz2\Pi x$ (рис. 3.8, а) с одной вращательной и одной поступательной кинематическими парами. Рабочая зона в этом случае представляет собой плоское кольцо, схема реализует плоскую полярную систему координат. Как и предыдущие схемы, она применяется в основном для манипуляторов технологических ПР, работающих с плоскими поверхностями. Из-за наличия вращательной пары точность схемы несколько ниже, чем предыдущих, причем точность может существенно изменяться при радиальном смещении рабочего органа. Конструкция, выполненная по такой схеме, не обладает большой жесткостью, поэтому существенным становится упругие деформации. Вертикальные перемещения подвижных частей отсутствуют, поэтому силы тяжести не нагружают двигатели. Однако значения изгибающих моментов для вертикального вала вращательной пары могут быть значительными, поскольку уравнивание вращающейся части практически невозможно.

Схема $1\Pi x2Bz$ (рис. 3.8, б) отличается от предыдущей порядком следова-



Рис. 3.8

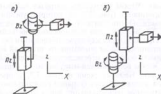


Рис. 3.9

ных кинематических пар. При достаточно больших поступательных перемещениях рабочая зона представляет собой плоскую полосу. Схема имеет преимущества в тех случаях, когда требуется большой ход по оси x ; при этом балка, по которой осуществляется поступательное перемещение, выполняется двухопорной. Вращающееся звено может быть легко уравновешено специальным противовесом или перераспределением масс. Из трех схем с поступательной и с вращательной парами и с вертикальной рабочей плоскостью преимущества имеет схема $1\Pi z 2Bx$ (рис. 3.8, в), поскольку направляющая большого поступательного перемещения неподвижна и горизонтальна, а вращающаяся часть может быть уравновешена.

Для вспомогательных ПР последние схемы практически не применяются.

Для схемы $1\Pi z 2Bx$ (рис. 3.9, а) рабочая зона представляет собой цилиндрическую поверхность определенного радиуса. Такие схемы могут использоваться в конструкциях технологических ПР только в тех случаях, когда они являются специальными (например, предназначены для внутренней обработки труб постоянного диаметра). В то же время схема широко используется в манипуляторах простейших роботов-перекладчиков. Как отмечалось ранее, сочетание вращательной и поступательной пар в одном узле дает конструктивные преимущества. Однако более подходящей является схема $1Bz 2\Pi z$ (рис. 3.9, б). Здесь вертикальное перемещение, наиболее ответственное, совершается по второй степени подвижности и с меньшей массой.

Схема $1Bz 2Bx$ (рис. 3.10, а) имеет две вращательные пары с параллельными осями, рабочая зона представляет собой плоское кольцо. Конструкции, выполняемые по этой схеме, технологичны. Если приводы электрические, для передач могут использоваться обычные редукторы. Двигатели и редукторы могут быть одинаковыми для обоих приводов, что является дополнительным преимуществом. Конструкции получаются более компактными и легкими по сравнению с предыдущими. Кажется, что при двух

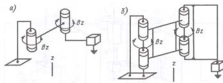


Рис. 3.10

консольных звеньев конструкция обязательно имеет низкую жесткость. Однако жесткость можно значительно повысить путем разнесения подшипников по оси z (рис. 3.10, б). В таком варианте схема используется в самых точных манипуляторах. Программирование движений в биполярной системе координат, соответствующей рассматриваемой схеме, представляет определенные трудности, так как любые прямолинейные движения рабочего органа требуют совместной работы обоих приводов.

Данную схему целесообразно применять в технологических ПР (например, окрасочных). При этом наличие только вращательных пар облегчает защиту соединений от распыленной краски. Заметим, что двухзвенный механизм рассматриваемого вида с вертикальными осями пар входит в виде складной руки в состав более сложного механизма манипулятора. Поворот плоскости механизма из горизонтального положения в вертикальное почти никакой специфики не вносит, уравновешивание проще всего достигается с помощью противовесов или перераспределения массы. Такой ПР может быть выполнен как переключщик, но непригоден для движений захватного устройства при включении приводов по отдельности сильно ограничивает возможности его применения.

В целом следует отметить, что манипуляторы с двумя степенями подвижности встречаются преимущественно в автооператорах и специальных ПР с ограниченными возможностями. Однако на их основе могут создаваться и более сложные механизмы.

§ 3.4. СХЕМЫ МАНИПУЛЯТОРОВ С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

Схемы манипуляторов с тремя переносными степенями подвижности являются наиболее распространенными. Начнем со схем со всеми тремя поступательными кинематическими парами. Манипуляторы с такими схемами работают в прямоугольной системе координат. Одной из наиболее распространенных является схема $1\Pi z 2\Pi y 3\Pi z$. По этой схеме строятся мостовые краны, некоторые

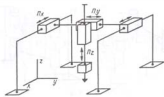


Рис. 3.11

координатные станки. Для манипуляторов, выполненных по такой схеме, типично верхнее расположение направляющих перемещений по осям x и y , рабочий орган перемещается под ними (рис. 3.11). Это манипуляторы сборочных и измерительных ПР, а также ПР, к рабочему органу которых прикладываются большие силовые воздействия. У вспомогательных ПР такие схемы встречаются редко, за исключением тех случаев, когда ПР выполняют функции мостового крана и обслуживают оборудование со свободным доступом сверху. При обслуживании нескольких единиц оборудования горизонтальные перемещения соответствуют межпозиционным степеням подвижности. Консольным является только последнее звено, перемещающееся вертикально. Вследствие этого упругие деформации под силами веса малы. Схеме присущи основные достоинства, типичные для манипуляторов с поступательными кинематическими парами (простота программирования движений, возможность получения высокой точности, разгруженность первых кинематических пар, простота уравновешивания, сохранение ориентации рабочего органа при переносе) и недостатки (громоздкость, большие массы, сложность сборки и регулировки, несогласованность кинематики движения с двигателями). В зависимости от ходов и требований к точности используются разные типы передач механизмов горизонтальных перемещений: винтовые (при малых ходах, не превышающих двух метров, и высокой точности), зубчатые реечные (при больших и средних ходах и средней точности), цепные (при низкой точности).

Схема $1\Pi y 2\Pi z 3\Pi x$, в которой кинематическая пара с вертикальной осью является второй, имеет иные области применения. При большом ходе по оси y (тогда эта степень подвижности является межпозиционной) манипулятор оказывается приспособленным для обслуживания оборудования, установленного в ряд с лицевыми поверхностями, перпендикулярными к оси x . При этом введение захватного устройства в рабочие зоны оборудова-

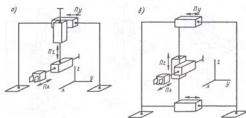


Рис. 3.12

ния осуществляется движением по последней степени подвижности — по оси x . Конструкция манипулятора может быть подвешенной (рис. 3.12, а) или с разнесенными по вертикали направляющими, т. е. с рельсовым путем в вертикальной плоскости (рис. 3.12, б). Последний вариант характерен для манипуляторов-штабелеров, обслуживающих вертикальные стеллажи. Если достаточно малого хода по оси x , манипулятор требует достаточно узкого свободного пространства перед фронтом оборудования.

Манипуляторы, выполняемые по схеме $1\Pi z 2\Pi y 3\Pi x$ (рис. 3.13), обычно являются напольными. То обстоятельство, что первой является кинематическая пара поступательного перемещения, позволяет выполнять конструкции, занимающие малые площади. При малой опорной базе ходы по осям y и x должны быть малыми, и соответствующие степени подвижности являются переносными, а не межпозиционными. ПР с такой схемой обслуживает одну единицу оборудования с вводом в рабочую зону по оси x . ПР с такой схемой по сравнению с другими напольными ПР являются более громоздкими, однако при малых ходах можно получать высокую точность позиционирования.



Рис. 3.13

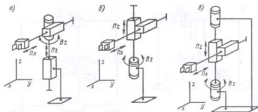


Рис. 3.14

Из схем с двумя поступательными и одной вращательной парами наибольшее распространение получили схемы $1Пз2Бз3Пх$ (рис. 3.14, а) и $1Бз2Пз3Пх$ (рис. 3.14, б). Обе схемы чаще всего реализуются в напольных ПР, работающих в цилиндрической системе координат. В настоящее время такие ПР с пневмоприводом, достаточно простые и дешевые, составляют большинство парка. Однако имеется тенденция к снижению их относительного числа. Для обеих схем характерна горизонтальная выдвижная рука (ее выдвижение осуществляется по последней степени подвижности). Механизм выдвижения хорошо согласуется с приводом, если двигателем является пневмоцилиндр. Силой тяжести нагружен только привод перемещения по оси z , однако при использовании пневмопривода, а тем более гидропривода, нет необходимости в механизмах разгрузки или уравнивания. Две следующие друг за другом вращательная и поступательная пары с параллельными осями удобны для компоновки. При выборе последовательности этих двух пар в первую очередь учитываются громоздкость и относительная масса соответствующих механизмов. Иногда механизм поворота имеет в качестве двигателей пневмоцилиндры с передачами. Этот механизм желательно устанавливать на основании; тогда первой выбирается вращательная степень подвижности. Однако, когда вертикальный ход достаточно большой, а для вращения используется компактный поворотный пневмодвигатель, первой выбирается поступательная степень подвижности по оси z . Промышленные роботы, выполняемые по таким схемам, обычно являются вспомогательными, они широко используются для обслуживания кузнечно-прессового оборудования, когда требуется высокое быстродействие, но может быть невысокая точность. Наличие вращательной пары часто приводит к увеличенным ошибкам по боковым перемещениям, особенно при выгнутой руке. Схемы нетипичны для технологического оборудования в значительной мере вследствие трудности получения высокой жесткости. Одна из не-

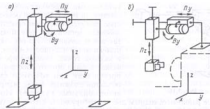


Рис. 3.15

многих возможностей повышения жесткости путем устранения консолей показана на рис. 3.14, в. Недостатком выдвижной руки считается необходимость свободного пространства «за спиной» ПР (на случай вытягивания руки), аналогично тому, как это было у ПР, работающих в прямоугольной системе координат (схема $1Пз2Пу3Пх$).

Схема $1Пу2Бу3Пз$ (с качающейся выдвижной рукой) типична для подвесных вспомогательных ПР (рис. 3.15, а); поступательное перемещение по оси $у$ при этом обычно является межпозиционным. Промышленные роботы с такой схемой приспособлены для обслуживания станков (в частности, токарных), у которых доступ в рабочую зону сверху. По сравнению с аналогичными ПР, работающими в прямоугольной системе координат, конструкция с качающейся рукой имеет меньшую массу. Такая же схема иногда используется в конструкциях манипуляторов встроенных ПР, устанавливаемых на станочных станках (рис. 3.15, б). В таких случаях достаточно малых ходов по оси $у$. Иногда для этой цели используют напольные ПР со схемой $1Бз2Пу3Пз$ (их следует крепить к вертикальной плоскости).

Из схем с одной поступательной и двумя вращательными кинематическими парами наиболее распространенной является схема $1Бз2Бу3Пх$ (рис. 3.16). По этой схеме выполняются напольные ПР, как вспомогательные, так и технологические (чаще всего предназначенные для точечной сварки). В манипуляторах с такой схемой (с качающейся и поворачивающейся выдвижной рукой) реализуется сферическая система координат. Наиболее часто данная схема применяется в приборостроении. При этом часто используется как пневмопривод, так и электропривод. Допускаемый угол поворота вокруг вертикальной оси — 240° или около 360° , а диапазон измерения угла качания, как правило, невелик (от -30 до $+30^\circ$). По сравнению со схемой вида $1Бз2Пз3Пх$ данная схема позволяет получать конструкции меньшей массы и с большими вер-

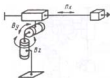


Рис. 3.16

этом все равно необходимы две ориентирующие степени подвижности. Если же при переносе нужно сохранять горизонтальную плоскость (что само собой получалось для большинства предыдущих схем), ориентирующая степень подвижности должна вводиться только для компенсации изменений угла качания. В более сложных условиях работают два привода: выдвижения руки и качания. На них воздействуют сила тяжести и ее момент. Точное уравнивание для этих степеней подвижности практически невозможно. Механизм качания уравнивается для некоторого среднего положения чаще всего путем перераспределения масс. Обычно ПР с такой схемой устанавливаются на полу, однако в тех случаях, когда несколько однотипных ПР должны выполнять операции одновременно (например, сваривая корпуса в различных точках), некоторые из них иногда устанавливаются на элементах специальных конструкций, по бокам и сверху. Точность ПР с такой схемой обычно невысока.

В последние годы значительное число манипуляторов строится по схеме $1B_22B_31P_z$ (рис. 3.17, а), в которой оси всех трех пар параллельны. Эта схема имеет много общего со схемой $1B_221P_z31P_z$, с той лишь разницей, что рука является не выдвижной, а складной. Можно также представить эту схему как результат добавления к схеме на рис. 3.10 с двумя степенями подвижности третьей — поступательной степени подвижности с осью z . Обычно ход

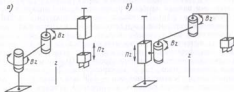


Рис. 3.17

вертикального перемещения мал, и рабочая зона является плоской. Достоинства схемы проявляются в тех случаях, когда при переносе объекта необходимо сохранить неизменным вертикальное положение его оси. Промышленные роботы с манипуляторами, выполненными по такой схеме, выпускаются сборочными. Благодаря специальным конструктивным решениям конструкция может быть достаточно жесткой, высокая точность обеспечивается за счет высокоточных датчиков следящих электрических приводов. Очень близкой по возможностям является схема $1P_z2B_23B_z$, в которой поступательная кинематическая пара является первой (рис. 3.17, б). Однако если наиболее ответственным является вертикальное движение (как, например, при сборке вала и втулки с вертикальной осью), то желательно, чтобы подвижная масса при вертикальном движении была возможно меньше. Именно так и получается в схеме на рис. 3.17, а.

Промышленные роботы, у которых схемы манипуляторов имеют все три вращательные кинематические пары, иногда называют антропоморфными (имеется в виду аналогия с человеческой рукой, у которой суставы представляют собой шарниры). Наиболее распространенной является схема $1B_22B_3B_y$ (рис. 3.18, а, б). Система координат, в которой работает манипулятор с такой схемой, часто называется угловой или ангулярной. Такая схема используется как для технологических ПР, предназначенных для окраски и сварки, так и для вспомогательных ПР. В приводах обычно используются вращательные электродвигатели с редукторами. Часто по всем степеням подвижности приводы одинаковы, что удобно при обслуживании и ремонте.

Промышленные роботы с такой схемой бывают напольными и подвесными. Их внешний вид существенно зависит от выбора длин звеньев и типовых рабочих конфигураций. Вариант схемы, изображенной на рис. 3.18, а, когда положение последнего звена близко к горизонтальному, схож со схемой с выдвижной рукой, именно

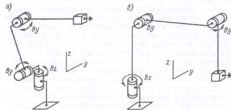


Рис. 3.18

он чаще используется в универсальных ПР. Вариант схемы с горизонтальным средним звеном (рис. 3.18, б) типичен для окрасочных ПР. Схема позволяет получать самые легкие конструкции манипуляторов, но точность таких ПР невелика. Сложность геометрических соотношений для ангулярной системы координат обычно не имеет значения, поскольку для технологических ПР такого типа программирование осуществляется обучением. Как и для манипуляторов с качающейся выливной рукой, не сохраняется ориентация рабочего органа. Приводы степеней подвижности находятся в существенно различных условиях. Двигатель поворота вокруг вертикальной оси (как и во многих других схемах, он является первым) не нагружен силами тяжести, по двум другим степеням подвижности целесообразна разгрузка, обычно она выполняется с помощью пружин.

О степени распространенности различных схем можно судить по каталогам. По двум схемам — $1Pz2Pz3Px$ и $1Bz2Pz3Px$ (обе соответствуют цилиндрической системе координат) — выпускается около 75 % производимых промышленных роботов. Если к этим схемам добавить еще четыре ($1Py2Pz3Px$, $1Py2Bz3Px$, $1Bz2Bz3Px$, $1Bz2Bz3Py$), то все вместе они составят около 95 %.

§ 3.5. СХЕМЫ ОРИЕНТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Рассмотрим теперь схемы механизмов ориентирования, которые имеют только вращательные кинематические пары. Положение их осей определяется относительно продольной оси и последнего звена, задающего переносное движение (руки). Вторая ось v выбирается горизонтальной, она является боковой; если механизм манипулятора имеет вертикальную плоскость симметрии, то эта ось перпендикулярна к плоскости симметрии. Третья ось w лежит в плоскости симметрии; если рука горизонтальна, то ось w вертикальна (рис. 3.19).

Буквенно-цифровые обозначения схем механизмов ориентирования аналогичны ранее введенным обозначениям схем переносных степеней подвижности: последовательно, начиная от руки, для очередной кинематической пары выписывается ее номер, обозначение ее вида (всегда B) и обозначение оси (u , v или w).

При сравнении схем следует учитывать некоторые из факторов, перечисленные в § 3.2. Это «привычность» схемы, простота программирования часто встречающихся движений, технологичность изготовления и сборки узлов, возможности замены консолей двухопорными элементами, массогабаритные характеристики, возможность простого и удобного объединения в одном узле двух или трех ориентирующих или одновременно ориентирующих и переносных степеней подвижности. Помимо этого дополнительно следует учитывать следующие факторы.

1. *Приспособленность к простейшим задачам переориентирования.* Так, чаще вспомогательные ПР должны кантовать объект, переворачивая его на 180° вокруг горизонтальной оси; иногда требуется поворот объекта на 90° вокруг горизонтальной или вертикальной оси.

2. *Согласованность с переносными степенями подвижности манипулятора.* В частности, желательно, чтобы вращением по одной, в крайнем случае — по двум ориентирующим степеням подвижности можно было обеспечить неизменность ориентации переносимого объекта, т. е. компенсировать повороты, возникающие при переносе.

3. *Естественные ограничения на углы поворота.* Лишь некоторые типовые конструкции допускают большие (до 180°) или неограниченные углы поворота.

4. *Ограничения на габаритные размеры механизма ориентирования.* Поскольку механизм ориентирования обычно komponуется вблизи рабочего органа (в частности, схвата), то ограниченность рабочей зоны может налагать жесткие ограничения на габаритные размеры механизма ориентирования, которые, в свою очередь, существенно зависят от положения осей кинематических пар (обычно габаритные размеры больше по осям пар).

5. *Удобство размещения элементов несущей конструкции и привода.* Преимущества имеют схемы, в которых первая ось вращения направлена по продольной оси руки (совпадает с осью u).

С учетом этих факторов рассмотрим основные схемы — с одной, двумя и тремя степенями подвижности. Схема вида $1Bv$, в которой вращение осуществляется вокруг продольной оси руки, является одной из наиболее распространенных (рис. 3.20). Вращение вокруг продольной оси руки часто называется ротацией. Ротация часто используется в манипуляторах ПР, работающих в цилиндрической системе координат. Она допускает переворачивание объекта (заготовки) вокруг горизонтальной оси u на 180° , что нередко требуется от ПР, обслуживающих прессы, которые выполняют операции штамповки, вырубки и гибки. Если достаточно переворачивания заготовки на 180° , то требуемые крайние положения вращающейся части обычно задаются упорами. Механизм вращения является консольным. Вал, подшипники и двигатель удобно komponуются рядом по руке, они могут размещаться внутри руки. Ротация не приспособлена для компенсации вращения при переносе, однако это часто и не нужно при расстановке обслуживаемого оборудования по окружности (см. § 9.2).



Рис. 3.19

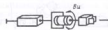


Рис. 3.20

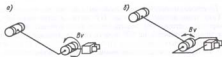


Рис. 3.21

Схема вида $1Bv$, в которой имеет место качание вдоль боковой оси v (рис. 3.21, а, б), хорошо согласуется с манипулятором, имеющим качающуюся руку. В этом случае поворотом вокруг оси v объект может приводиться в горизонтальную плоскость, для этого угол поворота вдоль этой оси задается равным углу наклона руки, но с обратным знаком. По сравнению со схемой вида $1Bw$ размеры данной схемы по оси v больше, кроме того, имеются определенные трудности с размещением двигателя. Если механизм является консольным (как на рис. 3.21, а), то угол поворота конструктивно не ограничивается, но для получения высокой жесткости приходится специально усиливать конструкцию. Большую жесткость можно получить для варианта схемы с вилкой (рис. 3.21, б), но при этом конструктивно ограничивается угол поворота (примерно в пределах $\pm 90^\circ$). Схема вида $1Bw$ приспособлена для манипуляторов с горизонтальной выдвижной рукой. Ориентирующие устройства с такой схемой приспособлены для работы с плоскими заготовками, когда их нужно как угодно поворачивать в горизонтальной плоскости, но не нужно переворачивать вокруг горизонтальной оси. При этом рабочим органом зачастую является вакуумное захватное устройство. Отметим, что, вообще говоря, возможны ориентирующие устройства с одной степенью подвижности с наклонной осью поворота, не совпадающей ни с одной из осей — u , v или w (рис. 3.22). Но они являются узко специализированными и применяются редко. Ориентирующие механизмы с одной степенью подвижности, как правило, используются во вспомогательных ПР и почти никогда — в технологических ПР.

Рассмотрим схемы с двумя кинематическими парами, оси которых взаимно перпендикулярны. Схема вида $1Bv2Bv$ (рис. 3.23, а) обычно соответствует более простым конструкциям, но для нее несколько усложняется программирование. Схема вида $1Bv2Bw$ (рис. 3.23, б) хорошо согласуется с манипулятором с качающейся рукой. Вращением вокруг оси v рабочий орган приводится в горизонтальную плоскость (при этом ось w становится вертикальной), а далее второй степенью подвижности объект поворачивается в горизонтальной



Рис. 3.22

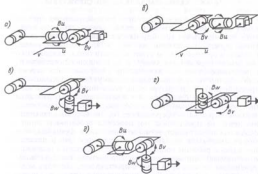


Рис. 3.23

плоскости, как у манипулятора с горизонтальной рукой. Схемы вида $1Bv2Bw$ (рис. 3.23, а) и вида $1Bw2Bw$ (рис. 3.23, б) практически равноценны по возможности задания движений и по особенностям реализующих их устройств; они преимущественно используются в манипуляторах технологических ПР, в частности, предназначенных для нанесения покрытий или окраски. В этих случаях вращением вокруг осей v и w удобнее всего отклонить ось рабочего органа вверх — вниз и вправо — влево, когда рука горизонтальна и направлена в сторону объекта. Три ориентирующие степени подвижности используются в манипуляторах вспомогательных ПР, когда необходимо задавать любую произвольную ориентацию в пространстве рабочего органа.

Чаще всего три ориентирующие степени встречаются в манипуляторах технологических ПР, для которых требуется определенным образом задавать не только положение основной оси рабочего органа, но и всего его в целом. Так, для точечной сварки важно подвести сварочные клещи так, чтобы электроды перемещались перпендикулярно к свариваемым листам и, кроме того, механизм клещей помещался в свободной зоне. Взаимное расположение осей кинематических пар выбирается таким, чтобы в исходном положении механизма все три оси были взаимно перпендикулярными. Конструктивные различия механизмов в значительной мере определяются положением продольной оси u . Чаще всего встречается схема вида $1Bv2Bv3Bw$ (рис. 3.23, в).

§ 3.6. СХЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

В некоторых областях получили распространение принципиально иные схемы с кинематическими цепями, которые не являются разомкнутыми. К числу наиболее распространенных относится схема, приведенная на рис. 3.24, в которой площадка с рабочим органом как бы стоит на шести ногах, каждая из которых имеет переменную длину, т. е. площадка перемещается и поворачивается шестью двигателями (1–6) линейных перемещений (обычно это гидродилиндры, но могут быть и линейные электродвигатели). В литературе чаще всего такой механизм называют *платформой Стюарта*. Все нижние шарниры, расположенные на неподвижном основании, допускают два поворота, все верхние шарниры — сферические. То, что шарниры попарно совмещены, не принципиально, подобная особенность лишь несколько облегчает конструктивное выполнение. Длина каждой ноги может изменяться независимо от остальных. Это означает, что площадка с рабочим органом имеет шесть степеней подвижности относительно основания, т. е. можно задать как линейные перемещения по всем трем осям в пространстве, так и три угла поворота вокруг трех осей. Геометрия механизма сложна (для описания геометрии и кинематики таких схем даже разработан специальный аналитический метод, названный методом *l*-координат [11]), о самом роботе поэтому иногда говорят, что он выполнен по (*l*-координатной схеме), при изменении длины любой ноги происходят перемещения по всем трем осям и повороты вокруг всех трех осей. Это, в частности, означает, что нет разделения степеней подвижности на переносные и ориентирующие. Поэтому принятое в этой главе буквенно-цифровое обозначение кинематических схем здесь не может быть использовано. Если же требуется задать поступательное перемещение рабочему органу по одной определенной оси или поворот относительно любой оси, то должны работать одновременно все шесть приводов.

Рабочий орган может быть ориентирован вонне (на рис. 3.24 показано штриховой линией), и в этом случае манипулятор удобно крепить на стене или

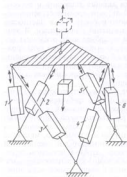


Рис. 3.24

на специальной конструкции с тем, чтобы он располагался сверху. Но чаще всего рабочий орган ориентируется вовнутрь (показано сплошной линией). В этом случае рабочая зона располагается между его ногами, размеры этой зоны тем больше, чем в более широких пределах может изменяться длина каждой ноги (обычно эта длина может изменяться максимально на $\pm 30\%$ от среднего значения).

Очевидным преимуществом схемы является возможность получения высокой жесткости. Устранен типовой недостаток классических схем с разомкнутыми кинематическими цепями, когда каждое предыдущее звено несло на себе все последующие и поэтому упругие податливости складывались. Здесь же каждая нога непосредственно соединяет площадку с неподвижным основанием и работает только на растяжение — сжатие. Поскольку в этой схеме все приводы как бы соединены параллельно (каждый из них соединяет площадку с неподвижным основанием), говорят о том, что механизм, выполненный по этой схеме, имеет параллельную структуру.

Однако у такой схемы имеется ряд важных недостатков: малые размеры рабочей зоны по сравнению с габаритными размерами; сложные законы управления даже для самых простых движений, и поэтому компьютерное устройство управления должно обладать достаточно большими вычислительными возможностями. По данной схеме известная германская фирма выпускает шестикомпонентные испытательные стенды. В этом случае на площадку вместо рабочего органа устанавливается оборудование, которое необходимо испытывать. Такие стенды способны задавать любые комбинированные колебания, имеющие поступательные и вращательные составляющие. По этой же схеме некоторыми фирмами, в том числе и в России, выполняются станки для механообработки типа обрабатывающих центров. В этом случае рабочим органом является шпиндель с инструментом (фрезой). Станки предназначены для обработки деталей со сложными конфигурациями поверхностей.

§ 3.7. СХЕМЫ МАНИПУЛЯТОРОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

Дополнительные, «лишние» степени подвижности вводятся в схему манипулятора для расширения возможностей.

Рассмотрим основные схемы усложнения кинематических схем. Одним из наиболее эффективных способов является установка на манипуляторе нескольких рук. При этом кинематическая цепь манипулятора оказывается разветвленной. Разветвление может происходить на разных уровнях. Крайним является случай, когда ПР имеет два кинематически не связанных манипулятора, установ-

ленных на одном общем основании. Несмотря на то, что манипулятора два, машина в целом представляет собой один ПР, поскольку оба они управляются одним устройством управления и имеют одну базу. Необходимость построения таких ПР возникает в тех случаях, когда при выполнении операций совершенно необходимо манипулировать двумя руками. Так, при сборке один манипулятор может удерживать одну собираемую деталь, а другой — перемещать вторую. Но они могут также работать параллельно, устанавливая разные детали на одну базовую. Возможно также разделение функций при сборке: один манипулятор подает детали и снимает собранный узел, а другой — осуществляет саму сборку. Для других технологических ПР возможно такое разделение функций: один манипулятор удерживает и, возможно, перемещает и поворачивает объект, а другой — перемещает рабочий орган (горелку при сварке или резке, распылитель при нанесении покрытий или окраске). Вместо одного из манипуляторов может быть устройство типа сдвижного или поворотного стола, на который устанавливается объект. При таком построении технологического ПР совершенно стирается грань между роботом и станком (или обычной технологической установкой). Специфика остается только в том, что манипулятор сохраняет большое число степеней подвижности. На вспомогательных операциях типа переноса и установки ПР с двумя манипуляторами целесообразно использовать в тех случаях, когда объект длинномерный и его невозможно переносить, захватывая только в одном месте. Однако в подобных случаях предпочтительно устанавливать два совершенно независимых ПР (их можно располагать на любом расстоянии друг от друга).

Другой вариант схемы с независимыми манипуляторами приведен на рис. 3.25, а. Промышленный робот является порталным, по одному ригелю перемещаются две тележки. Таким

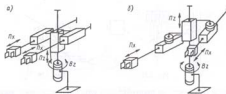


Рис. 3.26

образом, для двух независимых манипуляторов общей является направляющая межпозиционного перемещения. Промышленные роботы с такими схемами являются вспомогательными, как и обычные порталные ПР, они приспособлены для обслуживания оборудования (станков), установленного в ряд. Два манипулятора нужны в тех случаях, когда единицу обслуживаемого оборудования достаточно много, заготовки (всегда или часто) нужно передавать на соседнюю позицию (на соседний станок или в ближайший накопитель) и когда один манипулятор не справляется с нагрузкой.

Более распространенной является схема порталного ПР, несколько рук которого установлено на одной тележке (рис. 3.25, б). Если рук две, то чаще всего они используются так: одна рука несет с транспортера на станок заготовку, подлежащую обработке, а другая — вынимает обработанную заготовку из патрона станка, после чего первая рука устанавливает необработанную заготовку в освободившийся патрон. Вследствие того что очередная заготовка уже поднесена, сокращается время простоя технологического оборудования. При большем числе рук (их бывает до шести) без возвращения к транспортеру обслуживается сначала один станок, а потом другие. Подобный порталный ПР частично выполняет функции транспортного ПР. Каждая из рук имеет обычно две переносные степени подвижности и иногда одну ориентирующую. Ориентирующая степень подвижности чаще всего используется тогда, когда нужно переустанавливать заготовку после переворачивания ее на 180°.

Напольные вспомогательные ПР с двумя руками достаточно широко распространены. Обычно это ПР с пневмоприводом, работающие в цилиндрической системе координат и предназначенные для обслуживания прессов. Обе руки имеют общие механизмы подъема и поворота, самостоятельными являются только механизмы выдвигания и ориентирования. Иногда руки устанавливаются неизменно параллельно друг другу на одном уровне (рис. 3.26, а), но чаще предусматривается их разворот в горизон-

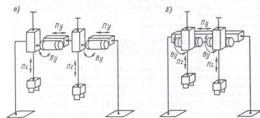


Рис. 3.25



Рис. 3.27



Рис. 3.28

тантной плоскости на произвольный угол с последующим закреплением, при этом они располагаются на разных уровнях (одна несколько выше другой — рис. 3.26, б). Как отмечалось ранее, ПР, работающие в цилиндрической системе координат, приспособлены для обслуживания оборудования, расставленного по окружности вокруг робота. Двухрукий ПР позволяет сокращать время обслуживания, если обслуживаемых единиц оборудования несколько. Расстановка оборудования схематично изображена на рис. 3.27. В положении, показанном сплошной линией, ПР одной рукой захватывает заготовку на позиции 1 с транспортера, а второй рукой вводит заготовку в рабочую зону на позиции 2 и после выполнения рабочей операции вытаскивает ее. В положении, показанном штриховой линией, первая рука устанавливает заготовку на позицию 2, а вторая — на позицию 3. Совмещение во времени установки и взятия заготовок на разных позициях позволяет сокращать время простоя оборудования. Если ПР обслуживает большое число единиц оборудования, то имеет смысл увеличивать число рук. Известны ПР с тремя руками.

Разветвление кинематической цепи ПР может происходить в самом конце. На рис. 3.28 приведена схема руки с двумя схватами. Механизм ориентирования меняет местами схваты. Первый из них, захвативший заготовку из патрона, отводится в сторону, а на его месте оказывается второй схват с заготовкой, подлежащей обработке. Таким образом, быстрая замена обработанной заготовки необработанной осуществляется более экономичными средствами, чем установкой отдельных рук.

Введение дополнительных, «лишних» степеней подвижности имеет смысл и тогда, когда кинематическая цепь остается неразветвленной, т. е. звенья соединяются последовательно друг за другом. Рассмотрим типовые задачи, которые решаются посредством введения дополнительных степеней подвижности.

1. Необходимо увеличить ход по одной из степеней подвижности, когда он конструктивно ограничен типом или имеющейся номенклатурой двигателей (например, ограниченный ход пневмоцилиндра). В этих случаях рекомендуется введение однотипного привода с параллельной осью кинематической пары. При этом степени свободы, которые дают перемещения по той же оси, могут

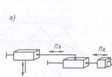


Рис. 3.29

быть смежными, соседними (рис. 3.29, а) или разделенными другими кинематическими парами (рис. 3.29, б).

2. При перемещениях по каждой из степеней подвижности от упора до упора требуется получить больше двух точек позиционирования. Последовательное включение двух приводов, для каждого из которых имеется только две точки позиционирования, дает возможность получить четыре точки (они получаются при четырех возможных комбинациях двух перемещений вперед — назад). При увеличении числа последовательно включенных приводов число точек быстро растет.

3. Необходимо при перемещении по одной степени подвижности осуществить прямолинейное движение по любой заданной прямой. Это возможно при введении в схему двух вращательных кинематических пар перед последней поступательной парой (рис. 3.30). Заметим, что при этом, в противоположность общепринятому, две ориентирующие степени подвижности идут перед последней переносной.

4. Необходимо провести согласование схемы ПР с осями оборудования, расставленного не в точном соответствии со схемой идеальной расстановки. Для ПР, работающего в цилиндрической системе координат, желательно, чтобы при расстановке оборудования по окружности оси, по которым рука ПР вводится в рабочие зоны, были радиальными. В действительности их направления могут отличаться от радиальных (рис. 3.31), при этом введение дополнительной степени подвижности (ее можно рассматривать как межпозиционную с малым ходом или переносную) позволяет исправить положение,

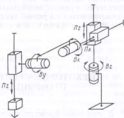


Рис. 3.30

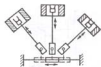


Рис. 3.31

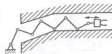


Рис. 3.32

иначе говоря, дает возможность перемещать объекты по осям обораудования.

5. Конструкция манипулятора должна быть складной, чтобы при большом максимальном вылете манипулятор помещался в узкой зоне. Это достигается введением большого числа вращательных кинематических пар (рис. 3.32).

6. Манипулятор должен обеспечивать подход к предмету с различных сторон (например, при нанесении покрытий и окраске). Большая гибкость при этом достигается введением дополнительных вращательных пар.

7. Точные заключительные движения (например, при сборке) желательно выполнять при малых перемещающихся массах. В этих случаях обычно вводят дополнительные («досыльные», «остиривочные») степени подвижности с малыми ходами. Оси этих перемещений могут совпадать по направлению с осями переносных степеней подвижности.

Часто встречаются случаи, когда при переналадке желательно значительно изменить конфигурацию манипулятора (например, увеличивать или уменьшать вылет), но во время работы дополнительные степени подвижности не нужны. В этих случаях для расширения возможностей манипуляторов предусматриваются установочные смещения. Так, цилиндр выдвижной руки может закрепляться в разных положениях, основание манипулятора может устанавливаться на разной высоте. Переустановка может осуществляться или вручную, или с помощью специальных приводов.

ГЛАВА 4

НЕКОТОРЫЕ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

В этой главе приведен краткий обзор конструкций типичных представителей серийно выпускавшихся и выпускаемых промышленных роботов различного назначения (вспомогательных и техно-

логических). Описаны основные типы современных отечественных и зарубежных роботов. В первую очередь анализируется, каким образом функциональное назначение, грузоподъемность, требования к размерам рабочей зоны и к точности повлияли на выбор кинематической схемы, сказались на компоновке и особенностях конструкции. Рассматривается также и важная обратная задача: специалист по робототехнике должен уметь оценивать «профессиональную пригодность» конкретных промышленных роботов на конкретных рабочих местах не только по полному техническому описанию, но и (по крайней мере, предварительно) по внешнему виду и кратким техническим характеристикам.

§ 4.1. ТИПИЧНЫЕ ОБРАЗЦЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ

Перечислим образцы вспомогательных роботов в порядке возрастания их грузоподъемности (также они перечисляются и в каталогах).

Промышленный робот МП-9. Этот сверхлегкий робот грузоподъемностью 0,2 кг используется в основном для обслуживания штамповочных прессов. В нескольких модификациях он серийно выпускался несколькими заводами в СССР более десяти лет. Привод робота — пневматический, управление — цикловое, поэтому он прост, достаточно надежен и дешев. Однако его возможности существенно ограничены малым числом команд в программе (не более 10) и невысокой скоростью перемещений (для выдвижения руки — 0,3, для подъема — 0,1 м/с). Максимальное линейное перемещение (ход) руки составляет 150 мм, что типично для сверхлегких роботов, перемещение при подъеме мало — всего 30 мм; это иногда вызывает дополнительные трудности при компоновке оборудования роботизированного модуля. Диапазон угла поворота составляет 120°. Поскольку робот, как правило, обслуживает только одну единицу оборудования (например, пресс), такого угла обычно бывает достаточно. Масса робота — 70 кг — велика из-за массивного основания. Однако массивность основания придает устойчивость при работе робота.

Общий вид манипулятора и его основные составные части изображены на рис. 4.1 и 4.2. Для механизма выдвижной руки (рис. 4.2, а) характерно наличие одного единого корпуса, в котором выточен цилиндр, а также смонтированы амортизаторы (демпферы). Подвижная часть имеет две направляющие, основная направляющая представляет собой шток пневмоцилиндра. Основная и дополнительная направляющие замкнуты соединительными деталями с обеих сторон цилиндра, что делает конструкцию выдвижной руки более жесткой. Механизмы подъема (рис. 4.2, з) и поворота (рис. 4.2, д) конструктивно совмещены; это упростило конструкцию, но обусловило малый вертикальный ход.

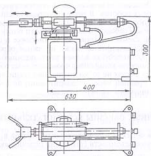


Рис. 4.1

Большинство модификаций робота МП-9 имеет один штатный клешевой хват (рис. 4.2, а), рабочие элементы к нему обычно изготавливаются на предприятиях, на которых он работает. На рис. 4.2, в изображено основание. Программирование движения осуществляется на штекерной панели пульта управления. Положение точек позиционирования задается перестановкой упоров или икорей герконовых датчиков.

Промышленный робот «Циклон-5». Этот легкий вспомогательный робот был предназначен для обслуживания кузнечно-прессового оборудования, работающего на операциях холодной штамповки, он использовался также для обслуживания металлорежущих станков, машин литья под давлением, печей и пр. Робот «Циклон-5» принадлежал к числу самых распространенных. Он производился в нескольких исполнениях и вариантах: с одной и двумя руками (руки могут быть укороченными и удлиненными), с дополнительным механизмом бокового сдвига или без него. Общий вид некоторых вариантов с изображением рабочих зон представлен на рис. 4.3. Грузоподъемность на одну руку составляет 5 кг. Манипулятор с одной рукой имеет четыре степени подвижности: три переносные (соответствуют кинематической схеме $1B2P2P1K$) и одну ориентирующую (ротация вокруг продольной оси руки). Одна из модификаций дополнена переносной степенью подвижности поперечного сдвига всего манипулятора в целом. Когда манипулятор имеет две руки, они крепятся параллельно друг другу, на одной высоте, симметрично относительно вертикальной оси вращения. Каждая рука имеет независимое

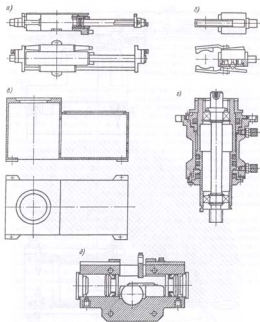


Рис. 4.2

выдвижение и независимую ротацию. Робот снабжен штатными схватами с рабочими элементами, перемещающимися поступательно (см. схему на рис. 7.17, а); они могут быть использованы для захвата как плоских объектов, так и тел вращения.

Привод робота — пневматический, все двигатели представляют собой пневмоцилиндры. Механизм поворота вокруг вертикальной оси имеет два пневмоцилиндра с параллельными осями, пре-

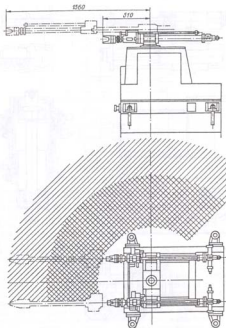


Рис. 4.3

образование перемещений поршней во вращение вала осуществляется с помощью реечных передач. У механизмов подъема и руки перемещение осуществляется непосредственно от пневмоцилиндра. Пневмоцилиндр механизма вращения расположен на заднем конце руки, реечная передача преобразует поступательное движение во вращательное, вращение передается схвату трубчатым ва-

лом, идущим от заднего конца руки к переднему. У механизма выдвижной руки основной направляющей является шток пневмоцилиндра, на дополнительной направляющей крепятся переустанавливаемые упоры, при остановке взаимодействующие со штоками гидродемферов. Пневмоцилиндр механизма подъема — обращенный: шток с поршнем только поворачиваются от механизма поворота, а гильза цилиндра перемещается по вертикали. На дополнительной направляющей крепятся переустанавливаемые упоры.

Максимальный вылет выдвижной руки для исполнения с удлиненной рукой превышает 1,5 м, ход руки составляет 0,6 м, вертикальный ход мал — всего 0,1 м. Угол поворота вокруг вертикальной оси 180°. Скорости линейных перемещений в горизонтальной плоскости превышают 1 м/с, по вертикали — значительно меньше — до 0,5 м/с. Указанные числовые значения показателей типичны для вспомогательных роботов с пневмоприводом той же грузоподъемности. Масса однорукого манипулятора составляет 460 кг, двухрукого — 780 кг. Это значительно больше, чем у лучших роботов аналогичного типа. Конструкция робота в целом массивна и имеет большие запасы по жесткости и прочности. Паспортные погрешности перемещений выдвижения руки и подъема составляют 0,1 мм, перемещений при повороте — 0,25 мм. Устройство управления цикловое, унифицированное, с набором программы на штекерной панели.

Промышленный робот «Фанук-2» («Fanuc-2», Япония). Этот вспомогательный промышленный робот старшего поколения, имеющий грузоподъемность 20 кг, был предназначен преимущественно для обслуживания металлорежущих станков (установки и снятия заготовок, замены инструмента). Робот выпускался известной японской фирмой «Fanuc», разрабатывавшей в течение многих лет сами роботы и некоторые комплектующие (в частности, специальные электродвигатели с улучшенными характеристиками, датчики и пр.). Робот работает в цилиндрической системе координат, относится к числу напольных роботов с горизонтальной выдвижной рукой и вертикально перемещающейся кареткой. Подобные роботы, выпуск которых еще раньше освоила фирма «Versatran», выпускались в нескольких странах. Робот «Fanuc-2» (рис. 4.4) имеет манипулятор с пятью степенями подвижности (тремь переносными и двумя ориентирующими). Радиус рабочей зоны составляет 2,3 м, ход выдвижения руки — 1,1 м, ход подъема — 0,8 м. Близость значе-



Рис. 4.4

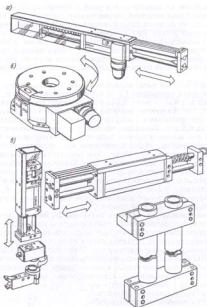


Рис. 4.5

ний вертикального и горизонтального ходов характерна именно для роботов с подвижной кареткой. Привод робота — электрический. Вследствие ограниченности мощности скорости перемещения не очень велики — до 0,5 м/с.

Важнейшей конструктивной особенностью является то, что станина робота С-образная, в результате чего вертикальная колонна является двухопорной и конструкция обладает повышенной жесткостью. В станине имеется полость, в которой размещается устройство управления. Управление робота — позиционное, ем-

кость памяти достаточно велика. Точность позиционирования обычно для подобных роботов: погрешность не превышает 1 мм. Из-за особенностей конструкции масса робота велика и составляет 1800 кг.

Модульный промышленный робот фирмы «Босх» («Bosch»). Модульный робот западногерманской фирмы является универсальным, он представляет собой набор модулей с электрическим и пневматическим приводами. Модули могут быть соединены в различных сочетаниях. Электрический модуль линейного перемещения (выдвижной руки) грузоподъемностью 12 кг изображен на рис. 4.5, а. Модуль выпускается в трех типоразмерах со значениями вылета 570–810 мм и хода 160–400 мм. Привод от электродвигателя включает коническую зубчатую пару и пару шпунт — гайка. Винт является многозаходным с большим шагом; максимальная скорость составляет 1 м/с, что превышает скорости многих роботов с электроприводом. Погрешность позиционирования составляет 0,1 мм. В комплект модулей входят также два пневматических модуля линейного перемещения: горизонтального, со значениями хода для двух типоразмеров соответственно 80 и 160 мм, и вертикального — с ходом 25 мм. Эти модули имеют малую грузоподъемность и могут устанавливаться только в конце кинематической цепи. Существует два типоразмера электрического модуля поворота вокруг вертикальной оси, один из них изображен на рис. 4.5, б. Основание собирается из унифицированных элементов (стоек, соединительных планок), поэтому робот можно собирать как настольный, встроенный (с устройствами крепления к станку), а также устанавливать его на разной высоте. Способ построения модификации робота, у которой все модули имеют пневмопривод, показан на рис. 4.5, а. Модификация имеет два модуля переносных поступательных перемещений, так что соответствующая кинематическая схема обозначается $IIx2IIz$. Такие схемы часто имеют мини-роботы, работающие в составе автоматических линий. Однако в этой модели робота имеется еще ориентирующий модуль ротации. Рабочим органом является схват.

Промышленные роботы «Пирин». Эти порталные вспомогательные роботы выпускались в течение многих лет в различных модификациях и вариантах болтарским объединением «Берое». Это специализированные роботы, предназначенные исключительно для обслуживания токарных станков, переноса заготовок и деталей в виде тел вращения. Одни и те же конструкции исполнительных устройств используются в переналаживаемых автооператорах и переналаживаемых роботах. Основу конструкции составляет портал на двух опорах. Высота портала и длина ригеля могут быть различными, они выбираются из стандартизованных рядов. По заказу горизонтальный ход по portalу может задаваться в пределах 2,0–6,5 м. Тележка, перемещающаяся по portalу, может нести две, три или четыре руки (рис. 4.6). Грузоподъемность каждой руки

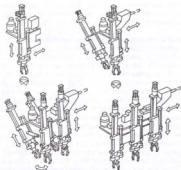


Рис. 4.6

в зависимости от модификации составляет 30, 40 или 80 кг. Руки устанавливаются так, чтобы при выдвигании любой из них центр схвата выходил на ось шпинделя обслуживаемого станка. Каждая из рук имеет одну переносную степень подвижности (выдвижение) и одну ориентирующую (ротацию). Есть модификации, у которых ротация отсутствует. Преимущество нескольких рук сказывается при обслуживании нескольких станков, устанавливаемых под порталом в ряд. Обычно пара рук приходится на один станок: одна рука вынимает заготовку после обработки из патрона, а другая — устанавливает новую. Ротация позволяет кантовать заготовку для обработки другого торца. Наличие нескольких пар рук позволяет за один проход обслужить несколько станков. Привод роботов — гидравлический, скорости перемещений не очень велики — до 0,6 м/с. Точность позиционирования для столь больших размеров высока (погрешность составляет около 0,5 мм). Цикловая система управления унифицирована для большого числа подобных роботов.

Промышленный робот «Электроника НЦТМ-01». Этот сверхлегкий вспомогательный робот предназначен для обслуживания токарных автоматов определенных моделей и поэтому считается специальным. Манипулятор устанавливается и закрепляется на станине станка (рис. 4.7). Он имеет четыре степени подвижности: три переносные и одну ориентирующую. Первая — это вращательная кинематическая пара с вертикальной осью, две следующие — поступательные (горизонтальное и вертикальное переме-

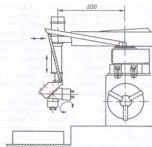


Рис. 4.7

щения). Таким образом, кинематическая схема переносных степеней подвижности обозначается $1B2P1x3P1z$. Робот работает в цилиндрической системе координат. Перемещения по осям (ходы) составляют 200–300 мм, угол поворота — 120° . Рабочий орган имеет для схвата, при повороте головки с двумя схватами на 180° вокруг оси, наклоненной на 45° , схваты меняются местами. При подходе к патрону станка первый схват вынимает обработанную деталь, а второй вставляет в патрон заготовку. Кассета с заготовками устанавливается рядом со станком на подвижной стол. Робот последовательно берет заготовки из гнезд кассеты и заменяет их обработанными деталями.

Привод робота — электрический (электромеханический). В приводе используются двигатели постоянного тока, в механизме поворота — обычный двухступенчатый редуктор, в механизмах выдвижения руки и подъема — винтовая передача (винт — гайка). Робот имеет позиционную систему управления с достаточно узкими возможностями. Быстродействие и точность робота невелики, однако они вполне достаточны при обслуживании станка, когда время обработки заготовки не менее десятков секунд.

Робокар МП-14Т. Робокары являются транспортными роботами, они перемещаются на колесах не по рельсовому пути, а по полу. Для робокара МР-14Т разработки ЦНИИ РТК [8] трасса задается светотражающей (зеркальной) полосой, проложенной по полу. Слежение за полосой осуществляют специальные оптоэлектронные датчики. Система управления построена таким образом, что датчики воспринимают отклонения от середины полосы и вырабатывают электрический сигнал, который после усиления

поступает в привод рулевого управления. Колеса поворачиваются так, чтобы вернуть робокар к центру полосы. Привод робокара — электрический, от аккумуляторов. Их емкости достаточно для движения в течение 10 ч без подзарядки. Робокары могут иметь или не иметь собственный манипулятор, данный робокар снабжен манипулятором с четырьмя степенями подвижности, он установлен в центре платформы. Обычно робокары перевозят заготовки и детали в унифицированной таре, в ящиках, которые устанавливаются на платформу на специальные штыри. Робокар МР-14Т имеет грузоподъемность (без манипулятора) 700 кг, собственную массу — 550 кг, размеры платформы — $2,0 \times 1,8$ м. Грузоподъемность манипулятора составляет 25 кг. Скорость передвижения по полу может задаваться различной — до 1,0 м/с. Устройство управления робокара достаточно сложное, оно построено на базе микроЭВМ «Электроника-60». Особую трудность представляет точная остановка в заданных положениях, чтобы манипулятор мог надежно захватить тару с заготовками со специального стола или передать тару на требуемую позицию. Точная остановка осуществляется по специальным датчикам малого радиуса действия. В робокаре предусмотрены специальные меры безопасности, чтобы исключить наезды на людей.

§ 4.2. ТИПИЧНЫЕ ОБРАЗЦЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РОБОТОВ

Технологические промышленные роботы существенно отличаются от вспомогательных роботов по многим признакам. Прежде всего они имеют (в основном) более сложную кинематическую схему. Как правило, они имеют шесть степеней подвижности (иногда больше). Только у технологических роботов встречаются дополнительные подвижные устройства (например, поворотные и сдвижные столы, на которые устанавливаются объекты). Среди технологических роботов встречаются конструкции с самыми большими вылетами (чтобы можно было доставить рабочим органом до любой точки большого, неподвижно установленного объекта). Технологические роботы определенного назначения (например, для точечной сварки) имеют небольшой разброс грузоподъемностей, так как рассчитаны на определенный технологический орган. Привод технологических роботов — электрический или гидравлический, так как именно эти приводы могут быть управляемыми. Устройства управления технологических роботов на основе ЧПУ — позиционные и чаще контурные; они имеют широкие возможности. Для обеспечения нормальной работы некоторые модели технологических роботов снабжены средствами осязательства, порой весьма сложными. Вследствие всех этих причин технологические роботы, как правило, являются более сложными и дорогостоящими и, к сожалению, менее надежными. Однако социаль-

но-экономический эффект от внедрения технологических роботов имеет положительную направленность: такие роботы не просто облегчают работу, но и заменяют квалифицированных рабочих. Необходимо отметить, что многие качественные роботы, выпускаемые как универсальные, используются исключительно как технологические, потому что только в этих случаях они оправдывают себя.

Промышленный робот ТУР-10КМ. Этот легкий робот грузоподъемностью 10 кг считается универсальным, т. е. может использоваться и как обслуживающий, и как технологический. Разработанный в середине 1980-х годов, он был модернизирован и выпускался серийно. В настоящее время широко используется в промышленности. Робот имеет пять степеней подвижности (три переносные и две ориентирующие), привод — электрический (электромеханический), управление — позиционное или контурное с достаточно широкими возможностями. Паспортная точность робота достаточно высока (допустимая погрешность — 0,2 мм), однако этот показатель не подтверждается испытаниями. Максимальная потребляемая мощность составляет 4 кВт·А. Суммарная масса робота — 730 кг, из них на манипулятор приходится 230 кг.

Общий вид манипулятора приведен на рис. 4.8. Манипулятор выполнен по схеме $1B_22B_3B_4$ для переносных степеней подвижности и $1B_42B_4$ — для ориентирующих степеней подвижности. Все пары вращательные, при этом достигается хорошее согласование с вращательными электроприводами. На рис. 4.8 отражены манипуляционные возможности робота: показаны различные положения звеньев и рабочая зона.

Отметим важнейшие особенности манипулятора. Последовательность кинематических пар такова, что первой идет пара с вертикальной осью, соответствующий привод не нагружается силами тяжести. Следующие два привода работают в более тяжелых условиях. Одна пара электродвигателей располагается внизу, у оси кинематической пары $2B_4$, они приводят в движение звенья складной руки. Два других двигателя относятся к приводам ориентирующих степеней подвижности; они располагаются на заднем конце последнего звена и играют роль противовесов. У исходной модификации робота (ТУР-10) передачи были цепными, они оказались недостаточно жесткими. В последующих модификациях они были заменены на более жесткие. Электродвигатели всех приводов имеют мощность по 250 Вт, номинальную частоту вращения 3000 об/мин. К каждому двигателю пристроен волновой редуктор с передаточным отношением 102,5; номинальный момент на выходном валу редуктора равен 100 Н·м. В одном блоке с электродвигателем и редуктором устанавливается датчик обратной связи, выходной сигнал которого поступает в устройство управления. Устройство управления робота ТУР-10 — унифицированное (в первой модификации это УПМ-772, в ТУР-10КМ — «Прогресс 1-8»). Робот не имеет штатного рабочего органа; если робот используется

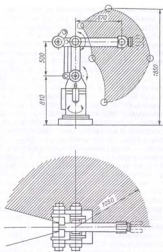


Рис. 4.8

как вспомогательный, то схват проектируется и изготавливается по месту эксплуатации. Показатель грузоподъемности — 10 кг — относится к суммарной массе захватного устройства и захватываемого объекта. Допускаются рабочие органы, для которых в качестве энергоносителя используется сжатый воздух (в частности, схваты с пневмоцилиндрами). Устройство управления имеет соответствующие выходы.

Конструкция манипулятора (за исключением передач) обладает большой жесткостью. Тонкостенные коробчатые звенья изготавливаются литыми. Основание также литое. Во всех опорах в шарнирах используются подшипники качения больших диаметров.

Промышленный робот РМ-01. Этот универсальный робот выпускался в конце 1980-х годов совместно СССР и Финляндией. Устройство управления робота — «Сфера-36» (отечественного производства), а манипулятор «Пума-560» изготовлен фирмой «Nokia» (Финляндия). Робот имеет грузоподъемность 2,5 кг и предназна-

чен для выполнения самых разнообразных операций: для обслуживания любого оборудования, для дутовой сварки, для шлифования и т. д. Манипулятор выполнен по схеме *1Bc2By3By* (для переносных степеней подвижности). Шесть степеней подвижности позволяют манипулятору переносить объект в любую точку рабочей зоны с любой ориентацией. Привод робота — электрический. Особенностью конструкции является консольное присоединение звеньев складной руки (рис. 4.9). При этом возможны большие углы поворота в шарнирах, в частности, можно переносить объект через верх. Внизу рабочий орган достает до пола. Подобные роботы фирмы «Пума» («Puma»), выпускавшиеся сначала в Великобритании, в настоящее время изготавливаются во многих модификациях многими зарубежными фирмами. Во всех приводах используются волновые редукторы. Двигатели и передачи располагаются внутри корпусов стойки, поворотной части и звеньев руки. Все корпуса представляют собой тонкостенные отливки из алюминиевого сплава, большие окна закрываются плоскими крышками. Важной отличительной чертой внешнего вида робота является лаконичность формы, какие-либо мелкие детали отсутствуют, все спрятано внутрь звеньев. Внутри расположение масс таково, что механизм без объекта уравновешен, роль противовесов в звеньях выполняют двигатели. Управление роботом РМ-01 — контурное, имеет широкие возможности. Паспортная погрешность робота составляет 0,1 мм.

Промышленный робот ПР-601/60. Этот средний робот грузоподъемностью 60 кг (допускается 100 кг, но при этом снижается

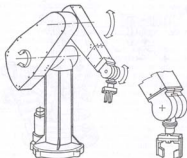


Рис. 4.9

быстродействие) считается универсальными, т. е. может использоваться как на обслуживании оборудования, так и для выполнения технологических операций. Однако, поскольку это сложный и дорогостоящий робот, целесообразно использовать его только на технологических операциях точечной сварки, шлифования (защипки литых), нанесения покрытий. Выпускался этот робот объединением «АВТОВАЗ» [его прототип — хорошо отработанная модель робота фирмы «Кука» («Kuka», ФРГ)]. Привод робота — электрический, устройство управления — числовое, с широкими возможностями. Манипулятор робота (без рабочего органа) изображен на рис. 4.10. Механизм манипулятора имеет шесть степеней подвижности: три переносные и три ориентирующие. Кинематическая схема манипулятора — $1B\&2B\&3Pu$ (только для переносных степеней подвижности). Таким образом, все кинематические пары являются вращательными, что, как отмечалось ранее, соответствует современным тенденциям роботостроения. По сравнению с простейшей схемой со складной рукой механизм усложнен: введен шарнирный параллелограмм, который создает лучшие условия работы приводов, упрощает разгрузку и делает конструкцию более жесткой. Двигатели вынесены, механизмы передач — винтовые (винт — гайка), редукторы — волновые. В манипуляторе использованы три типоразмера электродвигателей постоянного тока с тиристорным управлением, максимальная потребляемая мощность — 25 кВт. Среди роботов с электроприводом этот робот обладает высоким быстродействием: скорости линейных перемещений превышают 1 м/с.

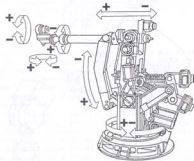


Рис. 4.10

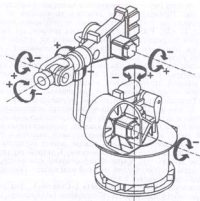


Рис. 4.11

Промышленный робот ПР 125/150. Этот многоцелевой технологический робот последнего поколения грузоподъемностью в 125 или 150 кг был также разработан в объединении «АВТОВАЗ» во второй половине 1990-х годов. Робот способен выполнять такие технологические операции, как сборка, контурная сварка, склеивание, лазерная сварка и резка, зачистка заусенцев, резка водяной струей. Как и в предыдущем случае, конструкция робота допускает его использование как вспомогательного, однако это не рационально, поскольку манипуляционные возможности будут использоваться тогда в незначительной степени. Манипулятор робота без рабочего органа (он является сменным и устанавливается в зависимости от выполняемых операций и конкретных требований) изображен на рис. 4.11. Механизм манипулятора имеет шесть степеней подвижности. Все кинематические пары являются вращательными, для переносных степеней подвижности схема является одной из самых распространенных и обозначается $1B\&2B\&3B$. Важной особенностью конструкции качающейся руки манипулятора является возможность удлинения ее на 0,2 или 0,4 м путем вставки одного из двух специальных удлинительных элементов. Максимальный вылет при наибольшем удлинении составляет 2,8 м. Предусмотрено два варианта установки основания мани-

пуллатора: на полу (непосредственно или на несущей конструкции) и на потолке. Привод робота — электромеханический, на двигателях переменного тока, установленная потребляемая мощность составляет 20 кВт. Робот является весьма точным, по паспортным данным погрешность позиционирования не должна превышать 0,2 мм. Масса манипулятора несколько превышает 1 т.

Система управления позволяет программировать движение рабочего органа как угодно: в цикловом режиме, от точки к точке, в режиме контурного управления с линейной и кротовой интерполяцией. Важной отличительной особенностью робота является современное компьютерное устройство управления на базе процессора Pentium, программирование осуществляется в среде Windows 95 или 98. Программирование может осуществляться в разных кодах и на разных предметно ориентированных языках, пульт управления имеет большой набор клавиш, расположенных по специальной схеме, и восьмидюймовый цветной дисплей с полной графикой. Управление в ручном режиме может осуществляться сразу по шести координатам от 6D-мышь. К устройству управления можно подключить обычный персональный компьютер. Принятые все меры для обеспечения высокой надежности. Полный срок службы робота составляет 8 лет.

Промышленные роботы «Юнимейт» («Unimate»). Эти роботы, впервые разработанные фирмой «Юнимейшн» («Unimation», США), выпускаются во многих модификациях в ряде стран, в том числе в Японии. Эти роботы считают универсальными и применяют для обслуживания станков, но чаще они являются специализированными, технологическими. Они выполняют операции точечной сварки, в частности, сваривают корпуса автомашин. Все эти роботы выполнены по схеме *1Bz2By3Plz*, т. е. имеют качающуюся выдвижную руку. Общий вид одного из таких роботов представлен на рис. 4.12. Грузоподъемность роботов — 35 или 50 кг, привод — гидравлический. Радиус рабочей зоны, или вылет, — 2,4–2,8 м;

это больше, чем у всех других серийных роботов. Большой вылет позволяет производить сварку корпусов с размерами около 4 м за одну и ту же установку. Однако на участках сварки зачастую работает несколько роботов, стоящих с разных сторон. Угол поворота вокруг вертикальной оси составляет 220°, диапазон углов наклона

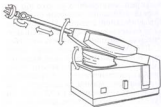


Рис. 4.12

невелик — примерно $\pm 30^\circ$. Число степеней подвижности — пять или шесть: три переносные и две или три ориентирующие. Большинство роботов являются неподвижными, но некоторые из них могут устанавливаться на вертикальных элементах конструкций или на рычагах. Выдвижная рука имеет две одинаковые направляющие, качающаяся часть частично уравнивается распределением масс. Все устройства качающейся части закрываются кожухом обтекаемой формы. Устройства управления всех роботов — позиционные, с широкими возможностями; скорости перемещений достаточно велики (около 1 м/с). Как и большинство роботов с гидрприводом, роботы «Unimate» тяжелые, их масса — от 1300 до 1600 кг. Погрешность позиционирования равна обычно 1 мм.

Окрасочный промышленный робот «Контур-002». Этот робот является технологическим. Помимо окраски методом пневмораспыления он может использоваться на операциях пескоструйной и дробеструйной очистки отливок, дуговой сварки, полирования и зачистки. Манипулятор имеет две вращательные пары, он выполнен по схеме *1Bz2By3Bz*; кроме трех переносных степеней подвижности имеет две или три ориентирующие. Грузоподъемность манипулятора — 15 кг. Манипулятор вместе с рабочей зоной схематично изображен на рис. 4.13. Обращает на себя внимание облегченность конструкции, тонкостенные средние части звеньев сужаются к концу. Эти особенности свойственны для многих окрасочных роботов. Привод робота — гидравлический, гидростанция устанавливается отдельно от манипулятора. Для защиты механизмов манипулятора при окраске на манипулятор надевается защитный эластичный гофрированный кожух, закрывающий его целиком. Система управления робота — контурная — унифицированная («Сфера-16»). Как у всех роботов, предназначенных для нанесения покрытий, программирование осуществляется обучением. Память устройства управления на магнитном диске позволяет запоминать программы движений на очень больших интервалах — порядка десятков минут. Точность воспроизведения программы не очень велика (погрешность составляет до 3 мм), однако для нанесения покрытий этого вполне достаточно. Скорости перемещения рабочего органа могут быть большими — до 2 м/с; такие скорости обычно нужны для холостых ходов. Масса манипулятора при грузоподъемности 15 кг невелика — всего 250 кг. Полная масса робота — свыше 700 кг.

Сборочный промышленный робот ТУР-2,5К. Этот робот считается универсальным (в техническом описании указывается, что он может быть использован для автоматизации основных и вспомогательных операций при контроле, механообработке и пр.), однако его основные особенности могут быть использованы наиболее эффективно при выполнении сборочных операций. Он является одним из наиболее точных ПР, погрешности позиционирования не превышают 0,05 мм. Манипулятор робота выполнен по

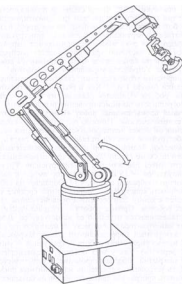


Рис. 4.13

схеме *1Bz2Bz3Пz*. Общий вид показан на рис. 4.14. Подобные сборочные ПР, часто именуемые роботами типа «SCARA», получили широкое распространение. Перемещения в горизонтальной плоскости осуществляются поворотами вокруг двух вертикальных осей. Сборочным, установочным является вертикальное прямолинейное движение (ход — 250 мм). Поэтому робот приспособлен для выполнения таких сборочных операций, при которых детали нужно вставлять сверху вниз в неподвижно установленную базовую деталь. Именно таким образом устанавливаются элементы в платы радиоэлектронных устройств. Имеется только одна ориентирующая степень подвижности — вращение вокруг вертикальной оси. Грузоподъемность определяется для объекта вместе с захват-

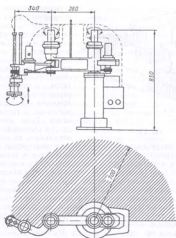


Рис. 4.14

ным устройством и составляет 3,2 кг. Однако обычно робот работает с очень легкими деталями. Масса манипулятора — 80 кг. Конструкция манипулятора обладает высокой жесткостью, зазоры в передачах устраняются, поэтому можно получить большую точность. Привод робота — электрический, все двигатели одинаковые, во всех передачах используются волновые редукторы. Управление робота — контурное, новое устройство управления «Прогресс 2-8» (массой 200 кг) имеет достаточно широкие возможности.

Измерительные роботы фирмы DEA. Эти роботы, разработанные итальянской фирмой DEA, предназначены для определения параметров и контроля положения и формы поверхностей различных объектов (заготовок, готовых деталей, изделий в целом, специально изготовленных макетов и пр.). Принцип действия заключается в следующем: специальный чувствительный элемент — щуп перемещается приводами до касания поверхности объекта. В этот момент с датчиков перемещений и углов поворота регистрируются

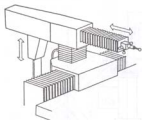


Рис. 4.15

рассчитаны некрутость сечения, перекос и искривление оси и т. д. Роботы выпускаются различной модификации и типоразмеров. Портальные измерительные роботы позволяют контролировать поверхности самых больших объектов (до нескольких метров), они различаются общей конфигурацией порталов, числом и расположением вертикальных опор. Для измерений на относительно малых поверхностях приспособлен настольный робот модификации «Браво». Его манипулятор имеет три степени подвижности, соответствующие трем прямолинейным перемещениям. Он устанавливается рядом с транспортером (рис. 4.15) и повторяет измерения на каждом поступающем объекте. В случае необходимости с двух сторон устанавливаются несколько таких роботов. Роботы имеют высокую точность. Управление осуществляется от большой ЭВМ, она же производит обработку результатов измерений.

Портальный сварочный робот фирмы «Rosenlew» (Финляндия). Этот робот (рис. 4.16) является специализированным и предназ-

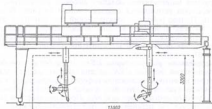


Рис. 4.16

начен для электродуговой сварки элементов конструкций корпусов. Это один из самых больших и сложных роботов. Портал, длина которого 15 м, ширина 6,7 м, высота 6 м, перемещается на колесах по рельсовому пути при переходе с позиции на позицию; при выполнении операций сварки он остается неподвижным. Робот имеет две руки со сварочными горелками, механизм каждой руки имеет восемь степеней подвижности, первые три степени подвижности соответствуют перемещениям в прямоугольной системе координат (схема $11y21x31z2$), остальные кинематические пары — вращательные. Большое число степеней подвижности руки позволяет сваривать швы различной ориентации в малых пространствах; необходимо лишь, чтобы был доступ в рабочие зоны сверху. Таким образом, робот объединяет два независимых манипулятора, размеры общей рабочей зоны — $13 \times 3 \times 3$ м. Суммарная масса робота, включая сварочное оборудование и устройство управления, составляет примерно 12 т. Основа устройства управления — специализированная ЭВМ с высоким быстродействием и большим объемом памяти. Предусмотрен специальный способ программирования, при котором задаются параметры швов и не требуется рассчитывать законы перемещений по координатам и углам поворота. Предусмотрено также включение специальных бесконтактных датчиков. Все приводы робота — электрические, скорость перемещения при сварке — до 1 м/мин, при нерабочих ходах — до 0,4 м/с. Погрешность позиционирования не превышает 10 мм.

Промышленный робот «TRICEPT HP1». Этот робот спроектирован итальянской фирмой «COMAU» и выпускается с середины 1990-х годов. Фирма «COMAU» в настоящее время стала одним из лидеров как по общему объему выпуска роботов, так и по числу различных моделей. Почти все роботы этой фирмы (они имеют наименования «SMART H1», «SMART H2», «SMART H3» и т. д.) — многоцелевые, применяются для шовой и точечной сварки, лазерной и газовой резки, механообработки, сборки. Все роботы с электроприводом, на двигателях переменного тока с регулируемой частотой. Больше половины моделей манипуляторов выполнены по самой распространенной теперь схеме — $1b2b2b3b$ и имеют только вращательные кинематические пары. Отличительной особенностью всех этих моделей является облегченная конструкция качающейся руки. Ее средняя часть представляет собой тонкостенную трубу круглого сечения. Грузоподъемность для разных моделей изменяется в пределах от 60 до 150 кг. Все роботы имеют совершенные компьютерные устройства управления с широкими возможностями программирования.

Рассматриваемый робот «TRICEPT HP1» (рис. 4.17) средней грузоподъемности (60 кг) имеет оригинальную кинематическую схему: переносные движения задаются выдвинутыми, свободно поворачивающимися штангами, оси которых сходятся в одной точке. При такой кинематической схеме размеры рабочей зоны малы.

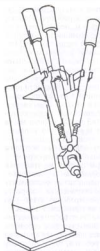


Рис. 4.17

Как видно из рис. 4.17, они значительно меньше габаритных размеров манипулятора. Точные осевые перемещения штанг от электродвигателей осуществляются через передачи винт — гайка. Таким образом, подвижные звенья оказываются соединенными параллельно (каждое из звеньев соединяет узел вращательных степеней подвижности, несущий рабочий орган, непосредственно со стойкой). Как отмечалось ранее, в схемах с параллельной структурой, особенно когда звенья работают не на изгиб, а на растяжение или (как в данном случае) на сжатие, обеспечивается значительно большая жесткость. При этом высокая точность винтовых передач позволяет получать почти рекордные для ПР точностные показатели: погрешность позиционирования не превышает 0,03 мм. В ходе выполнения программных движений робот способен развивать довольно большие усилия — до 15 кН (1,5 тонны) — при сохранении высокой точности позиционирования, поэтому его можно использовать при точных сборочных операциях с натягом (в частности, при сборке прессовых соединений). Даже при создании больших усилий высокая точность выполнения движений сохраняется. В то же время на холостых ходах обеспечи-

ваются достаточно большие скорости перемещения (до 0,3 м/с). Масса робота составляет около 500 кг, потребляемая мощность — 7 кВт.

Роботы для гибки с растяжением. Для выполнения операций, требующих создания больших технологических усилий, в 1970 — 1980-е годы роботы практически не проектировались, так как манипуляторы, выполняемые по наиболее распространенным схемам (1Пг2Вг3Пх или 1Вг2Вг3Пх), были для этого не приспособлены. Гибка с растяжением, для осуществления которой требуются значительные усилия (несколько десятков килоньютон), является исключением и относится к числу немногих роботизированных операций. Технологическая задача заключается в следующем: необходимо изогнуть, пластически деформируя, длинномерную заготовку (обычно сложной формы сечения), чтобы после завершения процесса форма полученной детали с заданной точностью



Рис. 4.18

соответствовала требуемой. Требуемая форма задается шаблоном, через который перегибается заготовка (рис. 4.18). Однако при простом изгибании проявляется эффект остаточного пружинения, когда после отпускания заготовки после изгиба она частично распрямляется, причем это распрямление нестабильно и не может быть заранее учтено при выборе формы шаблона.

Выход состоит в осуществлении гибки с одновременным растяжением. Растяжение выводит материал заготовки в пластическое состояние, при одновременном изгибе остаточное пружинение значительно уменьшается. Гибкой с растяжением заготовок из алюминиевых сплавов получают многие детали несущих конструкций самолетов. Такой робот работает на Саратовском авиационном заводе. Кинематическая схема наиболее распространенного варианта технологического робота для гибки с растяжением приведена на рис. 4.19. Схема симметрична, заготовка захватывается с двух сторон двумя схватами, в середине жестко закрепляется шаблон, гидроцилиндры 1 и 2 осуществляют растяжение, а гидроцилиндры 3 и 4 осуществляют изгиб. Даже из приведенной схемы видно, что кон-

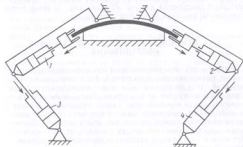


Рис. 4.19

струкция робота может быть выполнена очень жесткой; в механизме нет звеньев, работающих на изгиб.

Система управления предоставляет широкие возможности. У гидроцилиндров имеются как датчики перемещений, так и датчики сил. Кроме того, можно непосредственно измерить давление в полостях гидроцилиндров и по этим сигналам задавать или изменять усилия. Программы гибки с растяжением могут быть существенно различными. Так, можно сначала растянуть заготовку с выходом за предел текучести до начала пластических деформаций, а затем изгибать ее. Можно сначала изогнуть ее при не очень большом растяжении, а затем значительно увеличить растяжение. Программирование такого робота производится методом обучения. Рабочий в соответствии со своим опытом на нескольких образцах партии заготовок по результатам контроля точности подбирает программу (при этом могут быть и неудачи, когда, например, происходит обрыв заготовки), а затем на партии заготовок программа воспроизводится автоматически.

ГЛАВА 5

МОДУЛЬНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

Все большее распространение в промышленности получают модульные промышленные роботы. Общая логика и конкретные пути построения модульных ПР вытекают из общих принципов модульного построения любого оборудования. Поэтому начнем рассмотрение именно с этих общих принципов.

§ 5.1. ПРИНЦИПЫ МОДУЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Модуль — это унифицированный или нормализованный узел, который характеризуется структурной, функциональной и конструктивной самостоятельностью и может стыковаться с другими узлами (модулями) того же комплекса. *Функциональная самостоятельность* модуля означает, что он самостоятельно выполняет какую-либо задачу, например задает движение по одной степени подвижности или служит опорой для других модулей. *Конструктивная самостоятельность* модуля означает, что он может быть изготовлен и (или) собран отдельно и затем собран с другими модулями. Распространено такое простое объяснение: модуль — это кубики, из которых можно собирать различные конструкции.



Рис. 5.1

Соединение модулей дает агрегат. В государственном стандарте (ГОСТ 23887—79) *агрегат* определяется как сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия и способностью выполнить определенную функцию в изделии или самостоятельно. Определение агрегата имеет много общего с определением модуля. Для нас важно, что агрегат представляет собой более крупную единицу, чем составляющие его модули. Агрегативно-модульная система может быть многоуровневой. Это означает, что агрегаты (не самые крупные) можно рассматривать как модули более высокого уровня, более крупные кубики, из которых можно собирать еще более крупные единицы, агрегаты более высокого уровня. По отношению к агрегату на любом уровне его составные части следует рассматривать как модули. Таким образом, получается единая система (рис. 5.1). Изделие в целом находится на высшем уровне, оно представляет собой агрегат 1-го уровня. Его составные части по отношению к нему являются модулями 1-го уровня, но они же представляют собой агрегаты 2-го уровня по отношению к своим составным частям, модулям 2-го уровня. Это продолжается далее, до тех пор, пока на низшем уровне не окажутся простые элементы. Число уровней зависит от сложности изделий. Иногда число уровней достигает семи.

Модулям или агрегатам различных уровней могут приспавиваться самостоятельные названия: после изделия в целом следует модуль-агрегат, затем модуль-узел и, наконец, модуль-деталь. Однако такая терминология не является общепринятой. Для проектировщиков и ремонтников важны все уровни; соединение модулей на всех уровнях в соответствии с требованиями взаимозаменяемости должно происходить без подгонки и тем более без изготовления дополнительных элементов. Для технологов важны преимущественно два верхних уровня: изделие в целом и его крупные составные части — модули 1-го уровня; поскольку возможность получения различных модификаций изделия проявляется именно на этих уровнях. Поэтому в дальнейшем, когда речь идет о модулях, то имеются в виду модули 1-го уровня.

Модульное оборудование проектируется и выпускается комплектами или наборами. Различным соединением разных или оди-

наковых модулей получают модификации оборудования. Конечно, не все сочетания модулей имеют смысл и вообще возможны. Число возможных модификаций и практически полезных модификаций модульного оборудования является важным показателем: чем больше модификаций, тем больше степень приспособляемости оборудования к различным условиям. В зависимости от класса изделий и числа модулей число модификаций может изменяться от трех-четырех до многих десятков или даже сотен.

Отметим некоторые важные *преимущества* модульного оборудования.

1. Повышается серийность выпуска по сравнению со случаями, когда вместо модификаций выпускаются самостоятельные изделия. Это проявляется в большей степени, если возможных модификаций много: вместо сотен типов самостоятельных изделий нужно выпускать лишь несколько десятков типоразмеров модулей.

2. Нет необходимости тщательно изучать структуру спроса на конкретные модели оборудования в связи с изменением условий производства. Если на какие-либо модификации не будет спроса, их просто перестанут собирать, а из тех же модулей будут собирать другие, пользующиеся спросом. Неуживчивые могут оказаться только некоторые модули, а не изделия в целом.

3. Широкие возможности специализации отдельных предприятий по производству различных модулей с последующим кооперированием этих предприятий. Если мелкие предприятия не могут выпускать изделия в целом, то вполне могут производить отдельные модули и затем собирать их в комплекты.

4. Сокращаются сроки разработки новых моделей вследствие того, что заново создавать нужно лишь некоторые модули, а большинство модулей остаются прежними.

5. Появляются возможности для сокращения времени разработки и наладки производственных систем. Переделка немодульного оборудования для какого-то конкретного случая требует больших затрат времени. Наличие модульного комплекта позволит прямо на месте подобрать наиболее подходящие модификации и сэкономить время.

6. Значительно повышается приспособляемость оборудования к гибкому производству, поскольку при изменении расстановки оборудования, номенклатуры производимых изделий и пр. будет достаточно не заменять единицы оборудования целиком, а лишь подобрать другую, более подходящую модификацию.

7. Упрощается обслуживание, поскольку обслуживающий персонал должен изучать устройство и приспособиться к эксплуатации немногих модулей, а не большого числа различных моделей оборудования.

8. Повышается надежность работы оборудования в целом, поскольку возможностей для конструктивной и технологической обработки относительного небольшого числа унифицированных моду-

лей, несомненно, больше, а это всегда существенно повышает надежность.

9. Облегчается ремонт оборудования и сокращаются сроки ремонтных работ. Основным видом ремонтных работ становится замена отказавших модулей новыми или восстановленными. Ремонт самого модуля, если он необходим, производится, когда он вынут из изделия, а изделие в это время работает с исправным модулем. Поскольку число типоразмеров модулей мало, то при эксплуатации на одном предприятии большого числа модификаций оборудования из одного и того же набора достаточно иметь относительно небольшой запас резервных модулей.

Модульное оборудование имеет и некоторые *недостатки*.

1. Конструкция оборудования усложняется вследствие неизбежного введения лишних узлов соединений, разъемов и пр.

2. При выборе параметров модулей приходится закладывать лишние запасы по жесткости, прочности, мощности двигателей, чтобы могли нормально работать самые громоздкие модификации. При этом другие модификации, с меньшим числом модулей, будут недогружены.

3. Модульное оборудование зачастую имеет худший внешний вид, поскольку составлено из модулей самых различных модификаций.

Модульное оборудование следует сравнивать или с совокупностью различных моделей оборудования, собранных вместе, или со сложным оборудованием, дающим те же возможности, что и все модификации. Зачастую при одном и при другом сравнении выявляются преимущества модульного оборудования.

§ 5.2. ВИДЫ МОДУЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ. СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДИФИКАЦИЙ

При проектировании модульных ПР необходимо иметь полное представление о том, какими могут быть модули. На рис. 5.2 представлена классификация модулей по различным классификационным признакам. Названия классификационных признаков вписаны в овальные рамки. Соединительные модули (иногда их называют соединительными элементами) предназначены для соединения других модулей с фундаментом, со станинами обслуживаемого оборудования (встроенные ПР), со специальными несущими конструкциями или друг с другом. Нерегулируемые соединительные модули имеют заданные конфигурацию и размеры, регулируемые модули имеют составные части, которые можно перекреплять в различных положениях. Модули перемещений в модульном наборе являются основными, обычно каждый из них имеет один двигатель и задает движение по одной степени подви-

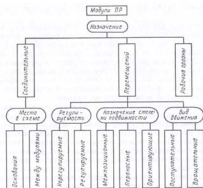


Рис. 5.2

вижности, но бывают модули на несколько степеней подвижности. Модули перемещений классифицируются также по виду степеней подвижности (межпозиционные, переносные и ориентирующие) и по виду задаваемого движения (поступательное и вращательное). Модули рабочих органов выделяются в самостоятельную группу, их классификация приведена в гл. 7.

Рассмотрим сначала подробнее, для чего могут служить и какие бывают соединительные модули. Модули оснований могут предусматривать неподвижную установку ПР (на фундамент, на стену, на перегородку, на стол) или подвижную (на тележку,

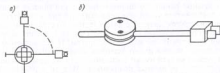


Рис. 5.3

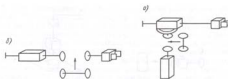


Рис. 5.4

шасси и т. п.). Соединительные модули, которые вставляются между другими модулями, могут выполнять разные функции. Рассмотрим наиболее типичные случаи.

1. Соединительный модуль перемещения, когда в процессе манипулирования можно не задавать перемещения по соответствующей степени подвижности. Так, соединительный модуль постоянной длины может заменить выдвижную руку манипулятора робота-перекладчика, когда ось поворота подвижной части может быть установлена на одинаковом расстоянии от точек захватывания и установки объекта, а препятствия по линии переноса (окружности) отсутствуют (рис. 5.3, а). Для лучшей приспособляемости к различному расположению оборудования рука должна быть регулируемой по длине (рис. 5.3, б).

2. Соединительный модуль вставляется по оси перемещения и тем самым увеличивает длину звена. Так, соединительный модуль, вставляемый между основанием и механизмом поворота (рис. 5.4, а), увеличивает высоту манипулятора, а соединительный модуль, вставляемый между фланцем руки и рабочим органом (рис. 5.4, б), увеличивает вылет, т. е. радиус рабочей зоны.

3. Соединительный модуль задает боковое смещение (сдвиг) последующего модуля относительно предыдущего. Так, можно смешать рабочий орган на более высокий уровень (рис. 5.5, а) или задавать боковое смещение руки относительно оси поворотной колонны (рис. 5.5, б).

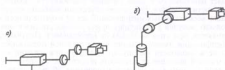


Рис. 5.5

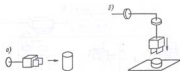


Рис. 5.6

4. Соединительный модуль имеет вид угольника и служит для того, чтобы повернуть последующий модуль относительно предыдущего на определенный или произвольно устанавливаемый угол. Так, при установке такого модуля между фланцем руки и схватом (рис. 5.6, б) изменится ориентация осей схвата; если в исходной модификации схват надвигается на захватываемый объект движением вперед (рис. 5.6, а), то во второй модификации схват опускается сверху (рис. 5.6, б).

5. Соединительные модули играют роль переходных модулей при объединении двух разных комплектов в один. Модули разных комплектов обычно имеют различные типы соединений или различные размеры соединительных поверхностей. Соединительные модули вставляются между ними и избавляют от необходимости изготавливать по месту эксплуатации специальные узлы соединений.

Как уже отмечалось, регулируемые соединительные модули позволяют изменять длины, смещения или углы, но не во время работы ПР, а при его переналадке.

Модули перемещений, реализующие межпозиционные и переносные степени подвижности, как правило, имеют по одной степени подвижности, а модули перемещений, реализующие ориентирующие степени подвижности, обычно объединяют все их, так что ориентирующий модуль задает повороты на один, два или три угла. Обзор и анализ выпускаемых модульных ПР позволяет выделить ряд приемов, которые можно использовать в любых сочетаниях.

1. *Разрабатывается одна разборная базовая модификация ПР.* Она обладает наибольшим числом степеней подвижности, поэтому ее возможности по манипулированию объектами наиболее широкие. В основе всех остальных модификаций лежит изъятие одного или нескольких модулей в различных сочетаниях. Оставшиеся модули соединяются, при этом возможна их перестановка. Получающиеся модификации имеют меньшее число степеней подвижности и меньшие возможности манипулирования, но при изъятии «лишних» модулей повышается жесткость и сокращается время цикла. Так, если не требуется переориентирование объекта, целесообразно изъять модуль ориентирования; за счет этого повышается грузоподъемность.

2. *Число типоразмеров модулей в комплекте уменьшается до минимума.* Например, если не требуется переориентирование, в комплект включаются только одинаковые модули линейных перемещений, а модификации образуются при их соединении с различной ориентацией и последовательностью осей. В результате получаются модификации ПР, работающего в прямоугольной системе координат (рис. 5.7). Для удобства конструкции в модулях следует использовать одинаковые электродвигатели с винтовыми передачами. Число получаемых модификаций можно увеличить, если на каждом модуле предусмотреть несколько посадочных мест (узлов соединений). Если же необходимо задавать вращения, то следует предусмотреть еще один или два типоразмера вращательных модулей (один — для переносных степеней подвижности, другой — для ориентирующих).

3. *Число типоразмеров модулей перемещений также выбирается малым, но дополняется большим числом простых соединительных модулей, которые позволяют в широких пределах изменять высоту и вылет, устанавливая вместо одной две руки, разворачивать в необходимую сторону рабочие органы и пр.* Таким образом, простыми и дешевыми средствами можно получить большое число модификаций.

4. *Число типоразмеров модулей перемещений выбирается большим.* Имеются, например, модули выдвижной руки, модули подъема, одинаковые по схеме и сходные по конструкции, но различающиеся длиной хода, модули ориентирования с разным числом степеней подвижности и с различным расположением осей и т. д. Преимуществом такого способа построения набора является то, что каждая модификация экономна по ходам, габаритным размерам и массам (модули выбираются с небольшими запасами), но большое число модулей в комплекте может сводить на нет преимущества модульного построения.

5. В комплект входят отдельно как узлы приводов с двигателями, так и сменные средние части звеньев. Установка сменных

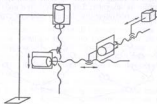


Рис. 5.7

частей различной длины, даже при одной и той же кинематической схеме, позволяет получать модификации, сильно различающиеся по размерам и ходам. Этот способ наиболее эффективен, когда все переносные степени подвижности — вращательные. Заметим, что при изменении длин звеньев может существенно измениться и грузоподъемность — она снижается при увеличении длин звеньев.

Применимость различных приемов зависит от назначения ПР и его грузоподъемности. Например, для сверхлегких и легких ПР очень важной является возможность установки и закрепления манипуляторов в различных положениях и на различных основаниях, поэтому целесообразно предусматривать наборы различных оснований. Небольшая масса сверхлегких и легких ПР позволяет эффективно использовать все приемы, так как сборка и разборка модификаций на модули трудностей не представляет, она может выполняться вручную. Для средних ПР обычно предусматриваются два варианта установки: напольная и подвесная. Поскольку для монтажа и демонтажа таких ПР необходимы средства механизации, а соединения и разъединение модулей требуют больших затрат времени, то в этих случаях стараются уменьшить число соединений, модули перемещений обычно соединяются непосредственно, без специальных соединительных модулей. В настоящее время большинство модульных наборов (обычно их называют просто модульными ПР) имеет небольшое число (5–10) модулей, из них не более двух модулей оснований, остальные — модули перемещений (модули рабочих органов не считаются).

Для того чтобы из наборов собирать большое число различных модификаций, необходимо знать и наглядно представлять способы их формирования. Рассмотрим основные из них.

Первый способ, *условно-графический*, основан на построении схемы возможных соединений модулей в виде ветвящегося дерева (рис. 5.8). Круги (так называемые вершины) изображают модули; прямые линии, соединяющие круги (ребра), изображают реальные соединения модулей. Для всех модулей вводится цифровые или буквенные обозначения. Дерево обычно строится снизу

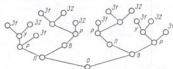


Рис. 5.8

Модификация	М о д у л ь				
	1	2	3	4	5
	+	-	-	+	-
	+	-	+	+	-

Рис. 5.9

вверх, движение от одной вершины к следующей означает присоединение очередного модуля, число кружков (вершин) в одной ветви от основания до конца равно числу модулей в модификации. Около каждого кружка записывается шифровое или буквенное обозначение модуля и, если нужно, способ соединения (когда очередной модуль может быть присоединен к предыдущему несколькими способами). На рис. 5.8 *О* означает неподвижное основание, *В* — модуль вращения, *П* — модуль подъема, *У* — модуль выдвижной руки, *З* — модуль ориентирования, *31* и *32* — варианты модулей захватных устройств. Если модулей оснований несколько, то по их числу изображаются несколько деревьев. Таким образом, можно на одном листе показать, каким образом можно построить несколько десятков модификаций. Однако этот способ недостаточно нагляден.

Второй способ изображает *разложение модификаций по модулям*. Используются упрощенные, но вполне наглядные изображения модулей и собранных из них модификаций. Составляется таблица изображений (рис. 5.9). Слева изображается модификация в сборе, вверху — отдельные модули. В соответствующих столбцах знаками «плюс» и «минус» отмечено наличие или отсутствие этого модуля в модификации. Таким образом, в строке происходит как бы разборка модификации на модули. Такой способ удобен, если модулей немного и каждая пара модулей может соединяться только одним способом.

Третий способ основан на использовании двух столбцов изображений; в левом — изображения модулей, а в правом — модификации (рис. 5.10). Соединительными линиями (сплошными) указывается, из каких модулей собирается та или иная модификация. Этот способ следует применять при малом числе моди-

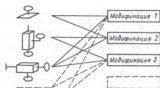


Рис. 5.10

Агрегативно-модульный принцип построения в таком виде, как он был описан, применяется преимущественно для механических устройств, а именно, для манипуляторов. Устройства управления тоже можно было бы строить по такому принципу. Однако предпочитают поступать иначе. Устройство управления делают единым, унифицированным, чтобы без всяких изменений, только за счет внутренней коммутации можно было приспосабливать его к любой модификации манипулятора. Но при замене одной модификации манипулятора другой, конечно, приходится помимо сборки механических узлов также соединять силовые и сигнальные кабели и трубопроводы. При этом некоторые элементы приводов (например, клапаны и распределители — для пневмоприводов) могут или располагаться на модулях манипулятора или быть конструктивно связаны с единым устройством управления. Само устройство управления может быть блочно-модульным, однако его модули при этом не соотносятся с модулями манипулятора.

Наборы модулей формируются так, чтобы модификации имели примерно одинаковую грузоподъемность. Однако представляется перспективным объединять несколько наборов. При этом каждый из них должен быть рассчитан на разную грузоподъемность, но все вместе они должны иметь возможно больше унифицированных или одинаковых по конструкции элементов. Считается, что значения грузоподъемности для наборов должны различаться в четыре-пять раз.

§ 5.3. ПРИМЕРЫ МОДУЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Как отмечалось ранее, наборы модулей часто называются просто модульными ПР. Технологические ПР модульной конструкции встречаются редко. Для них характерны сменные модули оснований (чтобы их можно было устанавливать на пол или на спе-

циальные несущие металлоконструкции), а также различные модули ориентирования. Операции обслуживания являются гораздо более разнообразными по геометрическим требованиям и ограничениям, поэтому гораздо большее распространение получили вспомогательные ПР модульной конструкции. Рассмотрим два типичных примера модульных ПР.

Сверлельные промышленные роботы ПР5-2П-13.3.7 и ПР5-29-13.3.7. Эти ПР разработаны НИИТехноприбор (г. Смоленск) и предназначены для работы на автоматических линиях приборостроительных предприятий. Они имеют пневматический привод, три степени подвижности, номинальная грузоподъемность (по массе объекта) составляет 0,32 кг, максимальная абсолютная погрешность позиционирования — 0,1 мм, максимальные скорости перемещений: линейные — 0,2 м/с, угловые — 180 °/с, время цикла — 3–6 с, необходимое давление воздуха в магистрали — 0,4 мПа, масса манипулятора — до 17 кг. Буквенные индексы «П» и «Э» обозначают два разных устройства управления: первое представляет собой командоаппарат, а второе — перепрограммируемый микроконтроллер МКП-1. Комплект модулей состоит из пяти видов модулей перемещений (каждый из них имеет несколько типоразмеров) и четырех соединительных модулей (соединительных элементов). Модули изображены на рис. 5.11. Модуль линейного перемещения МЛ-5 представляет собой подвижное основание, он имеет шесть типоразмеров с ходами 50–200 мм, двигателем является пневмоцилиндр. Модуль вращения (угловой модуль) МУ-13, предназначенный для вращения вокруг вертикальной оси,

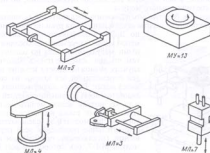


Рис. 5.11

может одновременно выполнять функцию основания, но может устанавливаться на линейный модуль МЛ-5. Модуль линейного перемещения МЛ-4 представляет собой механизм вертикального подъема, он имеет два типоразмера с ходами 30 и 50 мм. Модуль линейного перемещения МЛ-3 выдвинутой руки имеет четыре типоразмера с ходами 15–150 мм. Модуль линейного перемещения МЛ-7 с малым ходом (20 мм), если необходимо, устанавливается на конце руки, он реализует дополнительную, досылочную степень подвижности, он может быть установлен в двух положениях — с горизонтальной и с вертикальной осями перемещения. Модули ориентирующих степеней подвижности в комплекте отсутствуют, но имеются четыре соединительных модуля. Соединительный модуль А представляет собой руку постоянной, но регулируемой при настройке длины; он заменяет модуль МЛ-3 выдвинутой руки. Соединительный модуль Б заменяет модуль МЛ-4 вертикального подъема, высота также регулируется при настройке; этот модуль играет роль неподвижного основания. Соединительный модуль В заменяет модуль МЛ-4, но служит для соединения с модулем вращения МУ-13, с которым модуль Б не стыкуется. Соединительный модуль Г предназначен для соединения модулей МЛ-5 и МЛ-4. Таким образом, всего насчитывается девять видов модулей, причем некоторые из них имеют по несколько типоразмеров. Всего разработчиками предусмотрено 16 вариантов соединения модулей различных типов. На рис. 5.12 изображена модификация с пятью степенями подвижности, в которой имеются все модули перемещений. Эту модификацию можно считать базовой, в ней имеются все модули перемещений, но нет ни одного соединительного модуля.

Введение в базовую модификацию соединительных модулей с целью увеличения высоты стойки или вылета руки не предусмотрено. Другие модификации получаются заменой модулей перемещений соединительными модулями сначала по одному, затем по два, или по три; в некоторых случаях возможно просто изъятие модулей перемещений без замены их соединительными. Во всех модификациях последовательность соединения модулей одна и та же, модули нельзя менять местами. Незменными также являются способы соединений модулей и, следовательно, относительные положения осей перемещений (исключение представляет лишь модуль МЛ-7, ось которого может быть вертикальной или горизонтальной). Модули рабочих органов в комплекте отсут-

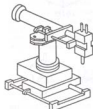


Рис. 5.12

ствуют; предполагается, что захватные устройства должны проектировать и изготавливать по месту эксплуатации, по данным о форме и размерах переносимых деталей.

Средний промышленный робот РПМ-25. Этот робот предназначен для обслуживания кузнечно-прессового оборудования. Во всех модификациях робот имеет одну выдвинутую руку, электромеханический привод, шесть-семь степеней подвижности, номинальная грузоподъемность (по массе объекта) — 25 кг. Модификации делятся на две группы: 1) наполные, на основании; 2) с межпозиционными перемещениями (по рельсовому пути или по порталу). В комплект входят четыре модуля оснований (подвижных и неподвижных), восемь модулей переносных и ориентирующих перемещений и три модуля схватов. Соединительные модули (элементы) отсутствуют, модули перемещений соединяются друг с другом и с модулями оснований непосредственно. Модули оснований и перемещений изображены на рис. 5.13. Модуль 1 портала с подвижной тележкой имеет следующие характеристики: максимальное перемещение 10 м; максимальная скорость перемещения 1,5 м/с; максимальная абсолютная погрешность позиционирования 2 мм. Модуль 2 представляет собой неподвижное основание. Модули 3 и 4 представляют собой подвижные основания соответственно с малым (500 мм) и большим (1200 мм) ходами. Модуль 5 вращения имеет следующие характеристики: диапазон изменения угла 300°; угловая скорость 135°/с; максимальная угловая погрешность 0,06°. Имеются два модуля поворота вокруг горизонтальных осей: модуль 6 простого качания (диапазон из-

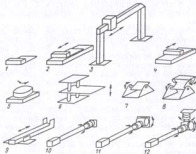


Рис. 5.13

МЕХАНИЗМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ
ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

менения угла 60°) и модуль 7 двойного качения (диапазон 90°). Модуль 8 вертикального перемещения имеет ход 0,4 м; скорость — 0,4 м/с; погрешность позиционирования — 0,4 мм. Модуль 9 выдвижной руки имеет ход 1,0 м; скорость — 0,6 м/с; погрешность — 0,8 мм. Модули ориентирующие степеней подвижности имеются в трех вариантах (10–12), они задают вращение соответственно по одному углу (вокруг продольной оси руки), по двум и по трем углам с угловыми скоростями $180^\circ/\text{с}$. Во всех трех модулях механизмы ориентирования вынесены вперед по длине руки, вследствие этого максимальный радиус рабочей зоны получается большим — 1,75 м. В комплект также входит три модуля захватных устройств: модуль простого схвата, модуль двойного схвата (для захватывания длинномерных объектов), модуль простого схвата с механизмом сдвига, задающим малые боковые смещения. Состав комплекта модулей в том виде, как был описан выше, впоследствии, после выпуска первых серий, неоднократно пополнялся и изменялся. Из модулей можно компоновать манипуляторы не более чем с одной степенью подвижности, с несколькими (от одной до четырех) переносными степенями подвижности. При различных сочетаниях модулей переносных степеней подвижности могут быть получены манипуляторы с различными кинематическими схемами. Так, если на модуль 4 с поперечной осью перемещения установить модуль 8 вертикального перемещения, а затем модуль 9 выдвижной руки с одним из модулей 10, 11 или 12, то получится манипулятор, работающий в прямоугольной системе координат. При установке на модуль 2 неподвижного основания модуля 5 вращения, а затем последовательно модулей 8, 9 и 10 получается манипулятор, работающий в цилиндрической системе координат.

Для сферической и угловой (ангулярной) систем координат последовательность модулей должна быть соответственно 2, 5, 6, 9 и 10 или 2, 5, 7, 9 и 10. Введение дополнительных степеней подвижности может существенно расширить возможности манипулятора. Так, установкой модуля 3 с осью по направлению оси руки можно получить большие перемещения рабочего органа (порядка 2 м). Возможность соединения различных модулей обеспечивается унификацией типов соединений и присоединительных размеров, разъемов кабелей и трубопроводов. Унифицированным является также электропривод: используются только два типа электродвигателей мощностью 1 и 2 кВт. Робот выпускается с двумя вариантами устройства позиционного управления: аналоговым и дискретным. Они различаются по точности. Указанные выше данные по погрешности относятся к аналоговому управлению.

Независимо от конкретных кинематических схем манипуляторы промышленных роботов, как правило, строятся по одному принципу: начиная от основания, механизмы последовательно соединяются друг с другом, причем каждый механизм имеет один привод и задает перемещения по одной степени подвижности. Исключением являются случаи, когда некоторые механизмы могут задавать движения по двум или трем степеням подвижности. У модульных роботов механизмы представляют собой модули, которые можно собирать в различных сочетаниях. У немодульных роботов механизмы обычно соединяются в определенной последовательности, но, как у модульных роботов, как правило, механизмы имеют конструктивную самостоятельность, поэтому их удобно анализировать и конструировать отдельно.

Анализ типовых, наиболее распространенных конструкций манипуляторов, выполненных по разным схемам, показывает, что можно выделить несколько типов механизмов, характеризующихся общими чертами. Кратко рассмотрим их.

1. Механизмы межпозиционного перемещения подвешенных (портальных) и перемещающихся по рельсовому пути напольных роботов, а также роботов-штабелеров (они реализуют кинематическую пару 1Вз или 1Пу). Они характеризуются большими ходами перемещений (3–10 м и более). Привод таких механизмов обычно электромеханический, их точность невысока.

2. Механизмы поворота вокруг вертикальной оси многих напольных роботов (они реализуют кинематическую пару 1Вз или 1Вг). Они характеризуются большими углами поворота, большими значениями масс и моментов инерции подвижных (поворотных) частей, отсутствием нагрузок от сил тяжести.

3. Механизмы качения звена в вертикальной плоскости (руки в целом или звена складной руки). Обычно они реализуют кинематические пары 2Вз или 3Вз. Значения масс и моментов инерции подвижных частей невелики, но приводы нагружаются силами тяжести, поэтому задача уравнивания является очень важной. Для роботов с выдвижной рукой диапазоны значений углов обычно невелики (например, $\pm 30^\circ$), для роботов со складной рукой — значительно больше.

4. Механизмы выдвижения руки роботов, работающих в прямоугольной, цилиндрической и сферической системах координат (реализуют кинематическую пару 3Вз). Направление поступательного перемещения — горизонтальное или близкое к горизонтально-

му, ход зависит от группы грузоподъемности, но обычно больший из ходов — по всем степеням подвижности (может превышать 1 м).

5. Механизмы подъема, реализующие кинематическую пару $1Пз$ или $2Пз$. Ходы этих механизмов, как правило, невелики (имеются, однако, исключения).

6. Механизмы ориентирования, задающие повороты по одному, двум или трем углам.

В дальнейшем, при рассмотрении способов реализации механизмов, раздельно описываются их основные составные части (двигатели, передачи, элементы несущих конструкций).

§ 6.1. ДВИГАТЕЛИ МАНИПУЛЯТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

В промышленных роботах используются самые разнообразные типы двигателей. Они классифицируются по виду энергоносителя, по способу подвода и преобразования энергии. Основными являются три типа двигателей (или приводов): пневматический, гидравлический и электрический. Существуют также комбинированные приводы (например, электрогидравлический, пневмогидравлический), в них используются два вида энергоносителя, иногда энергия одного носителя преобразуется в энергию другого.

Начнем обзор с пневмодвигателей. Энергоносителем для них является сжатый воздух, поступающий из центральной магистрали; рабочее давление составляет 0,5 или 1,0 МПа. Чаще всего используются линейные пневмодвигатели — пневмоцилиндры двустороннего действия. Схема пневмоцилиндра вместе с четырехходовым двухпозиционным распределителем и другими устройствами изображена на рис. 6.1. При смещении якоря пневмораспределителя вправо давление поступает в левую рабочую полость пневмоцилиндра и поршень со штоком перемещается вправо. При перемещении якоря влево давление подается в правую полость и поршень перемещается влево. Если возможны только два положения



Рис. 6.1

якоря, перемещения происходят до крайних положений, задаваемых постоянными или переставляемыми упорами. В ответствии вставлены пневмодрессели и обратные клапаны. Регулировкой дросселей может изменяться скорость перемещения.

В описанной схеме остановка поршня в определенном промежуточном положении при отключении обеих полостей практически невозможна из-за сжимаемости воздуха. Существуют способы управления, при которых допускается остановка

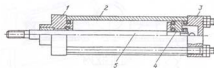


Рис. 6.2

в промежуточных положениях, однако это приводит к значительно усложнению конструкции и снижению надежности.

Конструктивно пневмоцилиндры являются самостоятельными элементами механизмов или совмещаются с несущими корпусными деталями. Конструктивная схема самостоятельного пневмоцилиндра приведена на рис. 6.2. Основной деталью является гильза 2, рабочие полости закрыты крышками 1 и 3, поршень 4 и шток 5 выполнены раздельно. Поршень и крышки имеют уплотнения в виде резиновых колец; к уплотнениям не предъявляются высоких требований, поскольку малые утечки и перетечки воздуха допустимы. Уплотнения изготовлены из фторопласта, что повышает их долговечность. Основные параметры пневмоцилиндров (значения диаметров, ходов) выбираются из стандартизованных параметрических рядов; выпускаются также унифицированные пневмоцилиндры, данные по которым приведены в каталоге [15]. Иногда пневмоцилиндры не являются самостоятельными элементами, цилиндрические полости растачиваются в корпусных деталях.

Поворотные лопастные пневмодвигатели используются реже. Конструктивная схема такого двигателя приведена на рис. 6.3. При подаче давления в одну из полостей лопасть поворачивается вместе с валом. Максимальный угол поворота обычно составляет около 300° . Уплотнения устанавливаются у вала и по периметру лопасти. Надежность и долговечность этих уплотнений, как правило, ниже, чем у пневмоцилиндров. Гидродвигатели, так же как и пневмодвигатели, чаще всего являются линейными, они представляют собой гидроцилиндры. Рабочая жидкость — масло — подается от специальных насосных станций, устанавливаемых отдельно, на расстоянии от манипулятора, или объединяемых с ним конструктивно. Рабочее давление обычно велико — 5–10 МПа. Поэтому для получения одних и тех же усилий гидроцилиндры выбираются в несколько раз меньше по диаметру, чем пневмоцилиндры. При малых диаметрах вместо обычных гидроцилиндров с поршне-



Рис. 6.3

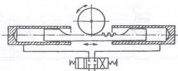


Рис. 6.4

ми и штоками иногда используются плунжерные пары; поскольку они одностороннего действия, их необходимо объединять парами (рис. 6.4). Распределители гидроцилиндров — обычно трехпозиционные, при отключении (запирании) обеих полостей осуществляется достаточно жесткое фиксирование поршня или плунжера, поскольку рабочая жидкость является практически несжимаемой. К уплотнениям гидроцилиндров предъявляются гораздо более жесткие требования, чем к уплотнениям пневмоцилиндров, протечки практически не допускаются при значительно большем давлении. Поворотные гидродвигатели устроены так же, как поворотные лопастные пневмодвигатели (см. рис. 6.3).

Для гидродвигателей и пневмодвигателей определенные трудности представляет подача сжатого воздуха или рабочей жидкости через подвижные звенья. При малых ходах часто используется свободное подешивание трубопроводов, которые в первом случае представляют собой пластиковые трубки, а во втором — многослойные трубки с армированием (для сохранения диаметра при большом давлении). Однако при больших длинах трубопроводов это недопустимо, тогда их обычно крепят параллельными рядами на специальных широкие цепи или гибкие стальные пластины (рис. 6.5).

В тех случаях, когда наружное расположение шлангов невозможно (например, при работе в высокотемпературной среде) или крайне нежелательно (для окрасочных роботов), в звеньях механизма делают внутренние каналы, по которым поступает энергоноситель. Но практически это возможно только тогда, когда механизм имеет лишь вращательные кинематические пары. Выполнение таких трубопроводов трудоемко и усложняет конструкцию.

Пневмопривод чаще всего используется в сверхлегких и легких вспомогательных промышленных роботах с цикловым управлением, работающих по упорам. Эти роботы просты, дешевы и удобны в эксплуатации, однако имеют ограниченные возможности (в первую очередь — малое число точек позиционирования). Гидропривод обычно используется в средних и тяжелых роботах. Важным преимуществом гидродвигателей является возможность по-

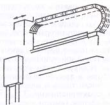


Рис. 6.5



Рис. 6.6

лучения больших усилий при малых габаритных размерах. Недостатком большинства таких роботов является необходимость встроения или самостоятельных гидронасосных станций, значительно увеличивающих массу роботов. Заметим, однако, что при обслуживании станков с собственным гидроприводом для приводов робота можно использовать насос гидросистемы станка. Длины ходов пневмоцилиндров и особенно гидроцилиндров ограничены значениями 0,6–0,7 м; для получения больших перемещений силовые цилиндры включаются в состав шарнирно-рычажных механизмов (например, как в схеме с качающимся цилиндром, приведенной на рис. 6.6). Пневмопривод дает возможность получать большие скорости перемещений, но без принятия специальных мер движение не является плавным, в частности, остановка происходит резко, с ударом. Для более плавного торможения устанавливаются гидравлические или пневматические регулируемые демпферы, поглощающие энергию удара. Обычно тормозной путь составляет 15–60 мм. Выпускаются унифицированные демпферы, различающиеся значениями поглощаемой энергии.

В манипуляторах и устройствах передвижения промышленных роботов часто применяются *электродвигатели*, вращательные электромоторы. Число их типов, вылов и серий велико. При выборе двигателя учитываются требования простоты, низкой стоимости, надежности при обеспечении заданных скоростей перемещений. Наиболее распространенными являются простые, дешевые и надежные асинхронные двухфазные и трехфазные двигатели переменного тока. Они имеют обычные обмотки только на статоре, на роторе проводники большого сечения образуют клетку, решетку (короткозамкнутый ротор). Асинхронные двигатели переменного тока используются как нерегулируемые, в процессе работы они только включаются и выключаются. Широко применяемые в различном оборудовании, в частности подъемно-транспортном, нерегулируемые асинхронные двигатели иногда устанавливаются и на простейшие роботы.

В приводах роботов чаще всего использовались коллекторные двигатели постоянного тока независимого возбуждения общетехнического применения, на сторе и в лазах ротора которых имелись обычные обмотки. Такие двигатели в манипуляторах могут быть регулируемые и нерегулируемые. Их недостатки заключаются в относительно больших массах, относительно большом времени разгона и торможения вследствие большой инерционности ротора, невысокой надежности в тяжелых режимах частых включений и выключений. Специально для роботов и другого аналогичного оборудования разработано большое число типов и видов новых электродвигателей с улучшенными характеристиками. Так, двигатели с постоянными магнитами на статоре (вместо электромагнитов) при пуске создают момент, значительно превышающий номинальный, в результате чего разгон двигателя производится быстрее. Выпускаются малоинерционные двигатели с тонкостенными роторами (дисковыми и полыми цилиндрическими), а также высокомоментные относительно низкооборотные двигатели.

В последнее десятилетие большое распространение получили регулируемые синхронные (с постоянными магнитами на роторе) и асинхронные (с короткозамкнутым ротором типа «беличья клетка») электродвигатели переменного тока. Регулирование угловой скорости вращения ротора осуществляется изменением частоты питающего напряжения. Хорошо известный еще с давних пор такой принцип управления приводом реализован даже для двигателей достаточно большой мощности вследствие быстрого прогресса в области мощных вентиляемых схем, управляемых от задающих генераторов программно регулируемой частоты. В настоящее время стоимость таких приводов близка к стоимости традиционных приводов постоянного тока, при том, что отсутствие коллектора позволяет значительно повысить долговечность.

Другой особенностью современного привода является предоставляемая ведущими фирмами возможность модульного построения привода агрегата, в который помимо электродвигателя входят редуктор, дополнительный вентилятор с самостоятельным приводом, датчики угла и угловой скорости, тормозное устройство. В зависимости от потребностей указанные устройства в разных комбинациях можно включать в привоной агрегат.

Специфика современных типовых компоновочных решений при установке электропривода в кинематических парах заключается в том, что агрегат непосредственно крепится фланцем редуктора к звену манипулятора, а двигатель вместе с другими устройствами консольно держится на этом креплении. При этом типовым является такое соединение: редуктор вместо выходного вала имеет выходную втулку, которая насаживается шпоночным или шлицевым соединением на выступающий вал приводимого во вращение звена. При этом исключаются ранее обязательные соединительные

муфты, само по себе осуществляется взаимное центрирование соединяемых элементов и т. д. Предусматривается большое число вариантов монтажных позиций двигателя с остальными устройствами относительно вала и приводимого во вращение звена.

Шаговые двигатели, управляемые последовательностью импульсов (каждому импульсу соответствует поворот ротора на определенный угол в несколько градусов), нашли широкое применение в станках с ЧПУ, в технологических роботах с невысоким быстродействием (например, в сборочных) в сочетании с системой контурного управления.

Важным достоинством управляемых электроприводов является удобство энергоснабжения (от сети переменного тока) и хорошая согласуемость с современными устройствами управления. Подключение дополнительных устройств, настройка проще всего осуществляются для электроприводов. Основные недостатки электроприводов — относительно низкое быстродействие (время перемещений при прочих равных условиях больше, чем для пневмопривода) и необходимость в понижающих редукторах. Электроприводы чаще применяются в технологических роботах (предназначенных, в частности, для окраски, сварки, сборки).

На практике обычно стремятся унифицировать тип привода по роботу, устанавливая, например, только электродвигатели или только пневмодвигатели. Однако иногда в одном и том же манипуляторе в разных механизмах используются двигатели различных типов (с разными энергоносителями). Особенно это относится к схватам, на которых часто устанавливают пневмодвигатели.

§ 6.2. МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕДАЧ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

В модулях промышленных роботов наиболее часто используют *прямую передачу*, когда выходное звено двигателя непосредственно, через жесткое соединение или через упругую муфту соединяется с подвижной частью. Так, если двигателем является пневмоцилиндр, то желательно, чтобы шток пневмоцилиндра был непосредственно соединен с подвижной частью (например, представлял собой часть выдвинутой руки), если двигатель поворотный, то желательно, чтобы подвижная (поворотная) часть была насажена на выходной вал. Однако зачастую прямая передача невозможна по ряду причин, и тогда необходимо вводить *дополнительные механизмы передач*. Передачи в роботах выполняют разные функции: передают движение на подвижную часть от далеко отстоящего двигателя, изменяют ось линейного перемещения или ось вращения, изменяют вид движения (например, преобразуют вращательное движение в прямолинейное поступательное или наоборот), изменяют величины линейных перемещений или углов поворота (при

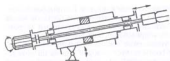


Рис. 6.7

товые, червячные, с упругими звеньями, а также комбинированные механизмы, построенные на различных сочетаниях перечисленных простых механизмов.

При выборе вида механизма учитываются естественные требования простоты, надежности, ограниченности масс и габаритных размеров, а также в различных сочетаниях такие специальные требования, как высокая точность, постоянство передаточного отношения, возможность получения больших передаточных отношений при малом числе звеньев, малость потерь, удобство совместной компоновки и развязки движений для нескольких передач. Самостоятельной является задача построения механизмов для передачи движений через подвижные звенья. Схемные и конструктивные решения передач определяются в первую очередь видом движения и типом механизма. В дальнейшем изложении эти признаки считаются главными; обращается внимание на то, в каких именно механизмах роботов встречаются те или иные задачи преобразования движений. Передачи рассматриваются в порядке усложнения.

Передача вращения от достаточно удаленного двигателя через жесткий вал без изменения угловой скорости вращения нередко встречается в конструкции выдвинутой руки, когда вращательный двигатель располагается на заднем, противоположном схвату конце руки (рис. 6.7). Такая компоновка позволяет частично уравновесить руку и устранить двигатель из рабочей зоны. Вал при этом выполняется в виде тонкостенной трубы. Передачи длинными трубчатыми валами используются также в конструкциях роботов с качающейся складной рукой, когда двигатели играют роль противовесов. Для нормальной работы передачи при возможных перекосах и линейных смещениях на концах валы закрепляются упругие муфты или вводятся другие упругие элементы.

Когда оси вращательного двигателя и вращаемого звена параллельны, используют передачу с цилиндрическими зубчатыми колесами, или с цепью, или с зубчатым ремнем (рис. 6.8). Современная технология позволяет выполнять передачи с зубчатыми ремнями весьма жесткими и точными, они используются, в частности, в некоторых роботах, выполненных по схеме, приведенной на рис. 3.17. При использовании цепных и ремennых передач необходимо принимать специальные меры для создания и стаби-



Рис. 6.8

лизации натяжения. При передаче вращения между пересекающимися валами чаще всего применяют конические зубчатые передачи. Во всех случаях значения передаточных отношений достигают 3—5.

Значительно сложнее решается задача передачи вращения от двигателя, установленного на одном звене, через другие звенья, подвижно соединенные с этим звеном. Такая передача движения необходима, например, в тех случаях, когда двигатель одной из степеней подвижности расположен на неподвижном или поворотном основании в начале кинематической цепи (что облегчает последующие звенья механизма) и необходимо передавать движение через кинематические пары. Если кинематическая пара поступательная, то вращение обычно передается различным телескопическим валом, половины которого соединены шлицевым или шпоночным соединением. Если кинематическая пара вращательная, то передача вращения через шарнир, соединяющий звенья, осуществляется обычно с помощью конического дифференциала. При использовании дифференциала поворот последнего звена относительно предыдущего не вызывает вращения выходного вала, который поэтому один к одному воспроизводит вращение входного вала. Как говорят, в этих случаях осуществляется развязка движений по координатам. Выпускаются манипуляторы, у которых все двигатели располагаются на одном основании и необходимы передачи от двигателей ко всем шарнирам. Часто все эти передачи выполняют соосными, так что трубчатые валы, передающие вращение, находятся один в другом; также соосными являются и конические дифференциалы. Схема такой сложной передачи приведена на рис. 6.9. Такие передачи широко используются в копирующих манипуляторах с ручным управлением. При большом числе степеней подвижности манипулятора механизмы передач получаются сложными и громоздкими.

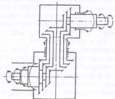


Рис. 6.9

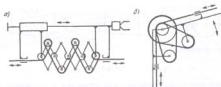


Рис. 6.10

Передача прямолинейного поступательного движения по одной оси в том же направлении наиболее просто осуществляется с помощью жесткой штанги. Подобное соединение двигателя с подвижной частью используется, когда двигатель удален, а также когда несколько пневмоцилиндров, работающих параллельно, перемещают одну и ту же подвижную часть. Передача прямолинейного движения через кинематические пары представляет определенные трудности и проще всего осуществляется при использовании гибких элементов. На рис. 6.10, *a* изображена тросовая передача через поступательную пару; передача выполнена так, что правый конец троса перемещается относительно второго звена (правого) только при перемещении левого конца относительно первого звена (левого). Если же второе звено выдвигается из первого, то при закрепленном левом конце троса правый конец не изменяет положения относительно второго звена, перемещаясь вместе с ним. На рис. 6.10, *b* изображена тросовая передача через вращательную пару. При закрепленном левом конце троса поворот второго звена не приводит к перемещению правого конца относительно этого звена. В обеих схемах должно быть обеспечено постоянное натяжение тросов. Известны и другие схемы с такими же свойствами. Если двигатели манипулятора с несколькими степенями подвижности установлены на основании, то, комбинируя подобные приемы, можно пропускать тросы через промежуточные звенья до нужных кинематических пар, причем каждый двигатель будет задавать перемещение по своей координате независимо от других двигателей, т. е. будет иметь место развязка по степеням подвижности.

При необходимости развязки по степеням подвижности, когда двигатели связаны с одним и тем же основанием, часто используют совсем другие схемные решения. На рис. 6.11 изображена пространственная схема механизма манипулятора с двумя вращательными кинематическими парами, получающаяся усложнением схемы, приведенной на рис. 3.18, *a*. Оба пневмоцилиндра являются качающимися, они шарнирно связаны с основанием. Реализуемая в этой схеме развязка заключается в следующем. Если пневмоцилиндр 1 не работает (поршень зафиксирован), а работает пневмоцилиндр 2, то рычаг *DE* поворачивается вокруг точки *A*. Если

же работает только первый гидроцилиндр, то вокруг точки *B* поворачивается рычаг *BA*, а рычаг *DE* перемещается поступательно, параллельно самому себе (это следует из того, что четыре шарнирно-соединенных звена образуют параллелограмм *ABCD*). Таким образом, первый гидроцилиндр изменяет только угол φ_1 , а второй — только угол φ_2 .

Однако чаще двигатели располагаются непосредственно вблизи узлов, реализующих кинематические пары (каждый двигатель у своей кинематической пары). Поэтому в дальнейшем будем рассматривать только такие передачи, все элементы которой находятся на одном жестком звене. При использовании большинства вращательных электродвигателей основной задачей передачи является редукция, т. е. уменьшение частоты вращения при увеличении во столько же раз вращающего момента. Оценим, каким должно быть передаточное отношение редуктора. Требуемая угловая скорость поворота подвижной части составляет $180^\circ/\text{с}$, или $3\ 1/\text{с}$. Если считать, что частота вращения ротора электродвигателя равна 3000 об/мин, или 300 $1/\text{с}$, то требуемое передаточное отношение будет равно 100. При других исходных данных, встречающихся на практике, получается, что передаточное отношение составляет несколько десятков или несколько сотен. Если на выходе передачи нужно иметь вращение, то используются обычные многоступенчатые (трех- или четырехступенчатые) редукторы с цилиндрическими зубчатыми колесами. Нередко такие редукторы можно подобрать из числа унифицированных. Иногда достаточно использовать серийные электродвигатели со встроенными редукторами (мотор-редукторы). Однако обычные редукторы общемашиностроительного назначения оказываются иногда недостаточно точными (когда работы должны быть высокоточными, например, при выполнении сборочных операций), ненадежными в режимах частых переключений. Для устранения зазоров (в тех случаях, когда они не выбираются силами веса) используют хорошо разработанные приемы (вводят разрезные шестерни, замкнутые кинематические цепи с упругими элементами, устанавливаемыми с первоначальным натягом).

Целесообразно использовать более сложные, планетарные, а также новые, в первую очередь волновые редукторы. Они позволяют значительно сократить массу и габаритные размеры. При скрепляющихся входной и выходной осях иногда используют червячные редукторы. Все они позволя-

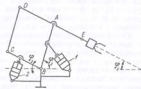


Рис. 6.11

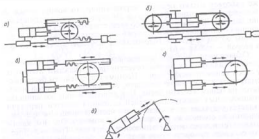


Рис. 6.12

ют получать на одной ступени требуемые достаточно большие значения передаточных отношений.

Преобразование линейного поступательного движения в линейное же поступательное, но с большим ходом, необходимо в том случае, когда ход гидро- или пневмоцилиндра меньше требуемого хода подвижной части. Две типовые схемы удвоения хода изображены на рис. 6.12, а, б. В первой из них используется реечная передача с двумя рейками, во второй — цепная передача.

Преобразование линейного поступательного движения во вращательное необходимо чаще всего в механизмах вращения манипулятора вокруг вертикальной оси, качания вокруг горизонтальной оси, вращения рабочего органа, когда двигателем является гидро- или пневмоцилиндр. В случаях, когда требуемые значения углов поворота большие (180° или более), чаще всего используют реечную передачу. По схеме, приведенной на рис. 6.12, в, серийно выпускаются унифицированные поворотные пневмодвигатели, построенные на паре пневмоцилиндров. Для такого же преобразования используются тросовые и цепные передачи (рис. 6.12, г). В тех случаях, когда требуются малые углы поворота, чаще всего применяют шарнирно-рычажные механизмы, например с качающимся цилиндром (рис. 6.12, д).

Передачи, преобразующие вращение в линейное перемещение, используют преимущественно в механизмах межпозиционных степеней подвижности и переносных поступательных степеней подвижности (в частности, подъема, выдвижения руки), когда двигателем является электромотор. При весьма больших ходах, порядка нескольких метров (для межпозиционных перемещений), используют тросовые и цепные передачи, если не требуется высокой точности задания перемещений. Когда требуется высокая точность, чаще применяется реечная передача (рейка неподвижна

и крепится по всему пути, а двигатель с передачей на шестерню находится на подвижной части). Для больших перемещений используют также передачи зубчатым ремнем, который перемещается как трос или цепь, но обеспечивает высокую точность. При небольших перемещениях применяют также и реечную передачу, но подвижной является рейка, а двигатель вместе с ведущей шестерней неподвижны (или устанавливаются на предыдущем звене). Винтовая передача применяется при небольших перемещениях. Двигатель вращает ходовой винт с однозаходной или многозаходной резьбой, а гайка связана с перемещаемой кареткой. В зависимости от требуемой скорости перемещения двигатель или связан с ходовым винтом через муфту, или вращение передается через редуктор с передаточным отношением порядка нескольких единиц. Для повышения жесткости и надежности работы передача выполняется удвоенной, при этом ходовые винты могут вращаться или от одного двигателя или от двух синхронно работающих двигателей. Для уменьшения моментов сил трения винтовых передач в некоторых роботах используют шарико-винтовые пары. Такие передачи применяются в самых точных роботах (измерительных, сборочных).

В механизмах роботов нередко встречаются комбинированные передачи, представляющие собой объединение простых передач, описанных ранее. Например, используется комбинированная передача винт — гайка в сочетании с шарнирно-рычажным механизмом (рис. 6.13). Конструкции, выполненные по этой схеме, получаются простыми и надежными, но с ограниченным углом поворота.

§ 6.3. НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Несущие конструкции роботов строятся в соответствии с их кинематическими схемами. Соединение звеньев несущей конструкции должно предоставлять возможность для свободных перемещений по степеням подвижности (сами перемещения задаются двигателями приводов) и в то же время должно воспринимать нагрузки по другим направлениям и обеспечивать требуемую высокую жесткость по отношению к перемещениям и углам поворота (кроме соответствующих степеням подвижности).

Для роботов с межпозиционными перемещениями наиболее громоздкой и металлоемкой частью конструкции является неподвижная стационарная конструкция с длинными направляющими (в частности, рельсами). Для подвесных роботов такой конструкции является портал, его масса обычно составляет сотни или



Рис. 6.13



Рис. 6.14

тысячи килограммов (до 80 % и более суммарной массы робота). Варианты порталов показаны на рис. 6.14. Порталы, как правило, представляют собой сварные конструкции. Стойки и ригели свариваются из труб, стандартных профилей (например, швеллеров) или плоских листов. Направляющие, по которым катятся ролики или колеса подвижных кареток, изготавливаются отдельно и крепятся на ригели. Их положение можно регулировать.

У подвижных роботов (напольных или подвесных) основанием является тележка с колесами или роликами. Колеса иногда делают и у стационарных роботов (чтобы их можно было вручную подкатить или откатить). Но во всех случаях у стационарных роботов имеются устройства для установки на полу или для крепления к фундаменту. Основание напольного промышленного робота представляет собой отливку или сварную конструкцию в форме тумбы или коробки. Как правило, основание является массивным, его масса составляет около 50 % массы робота. Особенно большую массу имеют основания роботов с гидроприводом, когда на них устанавливаются гидростанции. Встроенные промышленные роботы, устанавливаемые на оборудование, могут иметь только устройства крепления без основания как такового.

Общий вид и конструктивные особенности звеньев в первую очередь зависят от того, какие кинематические пары соединяют их со смежными звеньями.

Рассмотрим сначала узлы, реализующие поступательные кинематические пары.

Относительное перемещение соседних звеньев осуществляется по направляющим. Существует два варианта последовательности

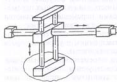


Рис. 6.15

элементов узла кинематической пары: 1) неподвижными (или условно неподвижными, т. е. близкими по кинематической цепи к основанию) являются направляющие, по ним перемещается каретка; 2) неподвижными являются опоры, по ним перемещаются направляющие.

Для примера на рис. 6.15 показана схема поворотной части механизма манипулятора, работаю-

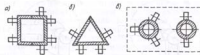


Рис. 6.16

щего в цилиндрической системе координат. Вертикальное перемещение каретки по направляющим соответствует 1-му варианту, выдвижение руки — 2-му варианту. Направляющие, принадлежащие звену, обычно идут по всей его длине. Наиболее часто встречаются следующие варианты направляющих.

1. Одна направляющая. Чтобы исключить вращение вокруг продольной оси, сечение направляющей обычно выбирается прямоугольным, в частности, квадратным (рис. 6.16, а) или треугольным (рис. 6.16, б).

2. Две направляющие. Одна из них является основной, другая — вспомогательной. Сечения направляющих могут быть любыми, но чаще они круглые (рис. 6.16, в). Если двигателем является пневмоцилиндр и направляющие неподвижны, то главной направляющей часто является шток пневмоцилиндра, при этом двигатель включается в несущую конструкцию. Подобное решение типично для выдвижной руки робота с пневмоцилиндром (рис. 6.17, а). Для механизма подъема распространенной является конструкция с основной направляющей большого диаметра, внутри которой располагается пневмоцилиндр (рис. 6.17, б). При этом дополнительная направляющая может быть снаружи или внутри.

3. Несколько одинаковых (обычно круглого сечения) направляющих располагаются по одной прямой, в вершинах равносортного треугольника или квадрата.

Направляющие обычно имеют тонкие стенки; при круглом сечении они представляют собой трубы с толщиной стенки 2–5 мм. Используются опоры качения и скольжения. В опорах качения — ролики или непосредственно шарикоподшипники. Они имеют

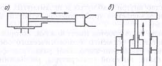


Рис. 6.17

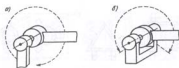


Рис. 6.18

жестко закрепленные оси; некоторые подшипники целесообразно подпружинивать, чтобы устранить зазоры и исключить заедание, возможное вследствие изменения толщины направляющих. Опоры скольжения делаются исключительно для направляющих круглого сечения; для уменьшения трения и износа устанавливают втулки из антифрикционных материалов.

Узлы, реализующие вращательные пары, выполняют консольными (рис. 6.18, а) или двухопорными (рис. 6.18, б). Преимуществом консольного крепления вала является то, что не ограничивается угол поворота. Поэтому большинство механизмов поворота вокруг вертикальной оси делают консольными. Однако при прочих равных условиях (при одних и тех же сечениях) жесткость и прочность консольных конструкций ниже, для их повышения требуется увеличивать сечения и усиливать крепления. Консольные схемы используются также в механизмах ориентирования, в первую очередь ротации. Повышение жесткости здесь достигается в основном за счет увеличения базы (увеличения расстояния между подшипниками). Двухопорные конструкции чаще всего используются в механизмах складной руки (с горизонтальными и вертикальными осями) и в механизмах ориентирования, когда достаточно иметь ограниченные углы поворота. В опорах устанавливаются исключительно подшипники качения (шариковые или роликовые). Средние части звеньев механизмов с вращательными кинематическими парами представляют собой тонкостенные профили довольно больших сечений. Чаще всего встречается прямоугольное сечение. Такие звенья представляют собой отливки из алюминиевых сплавов; иногда их изготавливают сваркой стандартных профилей.

Пространство внутри замкнутых и незамкнутых профилей используют для размещения трубопроводов, кабелей, иногда элементов передач.

Значительная часть роботов имеет кожухи, которые закрывают передачи, двигатели, элементы технологического оборудования, подшипниковые узлы. Они выполняют различные функции: защищают от пыли, высокой температуры, распыленной краски, повышают безопасность обслуживания. Ведущие зарубежные фирмы много внимания уделяют художественной проработке форм

кожухов. Нередко именно кожухи определяют внешний вид робота. Если кожухи крепятся на одном звене, они выполняются жесткими, их части штамуются или свариваются из тонкого стального листа. Элементы кожуха соединяются простыми замками, чтобы кожух можно было быстро снять для осмотра и ремонта. Если кожух закрывают узлы подвижных соединений, то их изготавливают резиновыми или пластиковыми, гофрированными. Такие кожухи необходимы для роботов, предназначенных для нанесения покрытий. Когда из-за налипшего слоя краски они теряют упругость, их заменяют.

ГЛАВА 7

РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

§ 7.1. РАБОЧИЕ ОРГАНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Технологические промышленные роботы разнообразны по назначению, соответственно многочисленны типы и виды используемых в них технологических (рабочих) органов. Иногда рабочие органы проектируются и изготавливаются для роботов специально, с учетом специфики условий их работы, но чаще приспособляются или ручные устройства (инструменты) или рабочие органы автоматических установок того же назначения. Как отмечалось ранее, при выполнении технологических операций в роботизированных технологических комплексах может перемещаться или рабочий орган, или изделие, или одновременно и рабочий орган и изделие. Если перемещается только изделие, то рабочий орган робота представляет собой захватное устройство. Далее рассматриваются случаи, когда рабочий орган является подвижным, его переносит манипулятор робота. Выделяются лишь те вопросы, которые связаны с построением робота в целом, и лишь кратко упоминаются чисто технологические требования. В число этих вопросов, важных для робота в целом, входят данные о массовых (весовых) характеристиках, энергопотреблении, способах и трудностях подвода энергии, целесообразности или необходимости средств очувствления, требования к способам и средствам закрепления на руке с учетом условий простой заменимости (вручную или автоматической).

Технологические рабочие органы подразделяются на группы. Рассмотрим основные из них.

1. *Рабочие органы для механической обработки (сверления, фрезерования, шлифования, полирования).* Характерным для них является наличие самостоятельного привода (обычно электромеханического) главного движения. Привод служит для вращения инструмента (сверла, фрезы, шлифовального круга, притира и т. п.). Мощность его обычно составляет десятки или сотни ватт. Усилия взаимодействия инструмента с обрабатываемым изделием составляют несколько десятков ньютонов (значительно меньше, чем у станков того же назначения), эти усилия являются нагрузкой для манипулятора. Как правило, движения подачи осуществляются манипулятором, но иногда рабочий орган имеет самостоятельный, обычно линейный привод подачи (электрический или гидравлический). Так, при сверлении подача осуществляется по оси вращения инструмента. Если рабочий орган имеет привод подачи, то в этом случае фактически он добавляет манипулятору одну степень подвижности (обычно поступательную). Рабочий орган в целом при этом становится аналогичным по схеме и конструктивным особенностям силовой головке агрегатного станка. В самом простом случае самостоятельный привод подачи отсутствует, привод главного движения не имеет редуктора или имеет редуктор без переключения скоростей. Так, при сверлении может быть использована ручная дрель. В рабочем органе для шлифования в качестве инструмента используется шлифовальный круг, но есть конструкции, в которых инструментом является шлифовальная лента с абразивным или алмазным покрытием, которая при шлифовании хорошо облегает выпуклые поверхности и позволяет получать более высокое качество обработки. Уровни сложности управления рабочим органом могут быть различными. В простейшем случае осуществляются только включение и выключение двигателя. В более сложных случаях предусматривается изменение частоты вращения переключением скоростей (вручную или автоматически). В ответственных случаях необходимо форсировать момент касания инструментом изделия, контролировать усилия взаимодействия инструмента с изделием. Для этого в рабочем органе устанавливаются датчики силомоментного чувствования, но это необязательно, с этой же целью может осуществляться измерение токов в силовых цепях электродвигателей главных приводов. В узлах соединений с рукой иногда предусматриваются упругие элементы с первоначальным натягом, чтобы предотвращать возможные поломки инструмента.

2. *Рабочие органы для сборки и разборки.* Конструкции этих рабочих органов могут быть совершенно различными. Когда роль сборочного робота сводится к установке одной детали на другую, неподвижную, установленную на фиксированную позицию, или к сопряжению детали с неподвижной по заданным поверхностям (например, при сборке пары вал — штука) без приложения значительных усилий, рабочим органом робота является специальный или специализированный схват. Специфика может заклю-

чаться только в упругом подвешивании схвата (для облегчения выполнения сопряжения и исключения явлений заклинивания). Если же выполняются более сложные операции, например, сборка винтовых соединений), рабочие органы могут быть узко функционально специализированными, ориентированными на выполнение отдельных этапов сборочного процесса, или комбинированными. При дифференциации операций по этапам один робот схватом устанавливает винты на место (рабочим органом является схват), а другой — винтовертом заворачивает винты (рабочим органом является винтоверт). Комбинированные рабочие органы обычно являются модифицированными узлами сборочных автоматов того же назначения. Эти узлы в автоматах, как правило, неподвижны, в них совмещаются функции накопления деталей (например, винтов), их ориентирования, подачи на сборочную позицию, собственно сборки (в частности, завинчивания), а также иногда контроля сборки. Комплексные сборочные устройства обычно достаточно сложны в проектировании, наладке и эксплуатации, но обеспечивают большую производительность. Значительно более простыми могут быть рабочие органы для автоматической разборки, необходимой при ремонте изделий и разуклопектовании — разборке на запчасти. Приспособление узлов сборочных автоматов к роботам часто требует серьезной модернизации с целью снижения массы и габаритных размеров, упрощения наладки и обслуживания и т. п. При сборке пар деталей с малыми зазорами зачастую точности робота недостаточно, чтобы начать процесс сборки (например, попасть торцом вала в отверстие), тогда на рабочем органе устанавливаются датчики смещений или сил. Роботы используются не только при сборке без приложения значительных сил. Для случаев, когда соединение или закрепление осуществляется запрессовыванием или пластическим деформированием (например, путем обжатия), рабочим органом обычно являются специальные клещи с силовым приводом. Рабочие органы для соединения сваркой, пайкой, склеиванием и т. д. выделяются в отдельные группы.

3. *Рабочие органы для тепловой сварки.* Наиболее распространенной в машиностроении является сварка плавлением, а именно, электрическая сварка открытой дугой и газовой сварки. Рабочим органом при этом служит сварочная горелка. При электросварке основным элементом является электрод, плавящийся или не плавящийся (вольфрамовый). Плавящийся электрод представляет собой электродную проволоку, которая в процессе сварки должна подаваться с заданной скоростью в зону дуги. В ответственных случаях для улучшения качества сварного шва в зону плавления подается защитный газ (аргон или углекислый газ). Для сохранения непрерывности процесса сварки и поддержания требуемых режимов расстояние между электродом и швом должно быть постоянным, очень незначительные отклонения допустимы и в по-

перечном направлении. Для контроля положения горелки относительно шва используются специальные датчики; по сигналам их и других датчиков осуществляется корректирование движения рабочего органа. Таким образом, в рабочем органе для электросварки совмещаются сама горелка со средствами подвода тока и, если необходимо, защитного газа, устройство для автоматической подачи проволоки, измерительное устройство для определения положения горелки относительно шва. Применение неплавящегося электрода исключает устройство подачи проволоки.

Ввиду сложности задач сварки для роботов разрабатываются специальные рабочие органы, многие в них заимствуются от горелок сварочных автоматов, в частности самоходных сварочных тракторов. Однако при этом зачастую возникает необходимость сокращать их массу и габаритные размеры. Для большинства сварочных роботов масса рабочего органа составляет около 10 кг. Рабочий орган для газовой сварки представляет собой горелку с подводом горючего газа и кислорода, в ней предусматривается устройство для включения и выключения подачи газов и автоматического планового регулирования расхода. Для термической (огневой резки) используются горелки, аналогичные горелкам для газовой сварки, однако находят применение и горелки для кислородной и плазменной резки, имеющие существенные особенности. Масса газовых горелок обычно меньше, для роботов их масса не превышает 5 кг. Грузоподъемность манипуляторов выбирается со значительным запасом, с учетом масс вспомогательных устройств и коммуникаций. Определенные трудности представляет размещение и крепление кабелей и шлангов больших сечений. Они могут заметно стеснять движения манипулятора. Иногда они крепятся к звеньям манипуляторов, что зачастую неудобно, и тогда кабели и шланги подвешивают на специальные опоры. При этом стремятся избежать большого числа разъемных соединений.

4. *Рабочие органы для точечной сварки (электрической или вибрационной).* Электрическое сваривание листовых деталей выполняется путем их сжатия с последующим пропусканием импульса тока. При этом происходит расплавление металла в зоне контакта и детали свариваются. Сжатие может происходить между двумя электродами, рабочим органом при этом являются специальные сварочные клещи. Достоинство такого рабочего органа состоит в том, что сваривание может производиться «на весу» и в любом положении. Если же детали должны привариваться к одной плоской детали, то эта деталь укладывается вниз, на токопроводящее основание, а приплавляемая деталь прижимается сверху одним электродом. Метод обладает широкими возможностями: можно сваривать детали толщиной от сотых долей до нескольких миллиметров (усилие прижатия и импульсы тока выбираются в зависимости от толщины). Для деталей толщиной около 1 мм необходимо усилие сжатия значительно (порядка нескольких сотен килограммов),

очень большими должны быть значения силы тока — около 10 кА, длительность импульса тока составляет несколько десятых секунды. Для создания больших усилий в качестве двигателя в сварочных клещах желательно использовать гидроцилиндр (пневмоцилиндр достаточно громоздкий). Важным элементом является сварочный трансформатор. Чтобы избежать больших потерь, сечение проводников должно быть большим, так что совершенно исключается подвод тока кабелем. Поэтому сварочный трансформатор входит в состав рабочего органа и располагается в непосредственной близости от сварочных клещей. Напряжение питания из сети кабелем подводится к трансформатору. В результате масса сварочных клещей для сварки листов около 1 мм получается большой — 10–30 кг. Рабочий орган имеет устройство включения-выключения, режимы в процессе работы не регулируются, а устанавливаются при первоначальной наладке. Для сваривания миниатюрных деталей (в частности, в приборостроении и электронике) применяются и электросварка (обычно одним электродом, прижимающим деталь к основанию) и вибросварка. В последнем случае при прижатии сваривание деталей происходит под действием высокочастотных вибраций, создаваемых ультразвуковым электромеханическим вибратором (чаще всего магнитоstrictionным).

5. *Рабочие органы для обдува струей воздуха.* Как отмечалось ранее, обдув используется для очистки поверхностей деталей, приспособлений, пресс-форм и т. п. Рабочие органы для обдува просты. Основными элементами являются сопло с регулируемым или нерегулируемым сечением, автоматический клапан (обычно с электромагнитным управлением). Питание осуществляется от сети сжатого воздуха с давлением 0,5 или 1,0 МПа. При необходимости для снижения давления используются дроссели. Вследствие простоты рабочих органов для обдува они нередко совмещаются с другими рабочими органами, например со схватами.

6. *Рабочие органы для нескоструйной или дробеструйной обработки.* Такая обработка чаще всего используется для очистки поверхностей заготовок после литья, но иногда и для изменения механических свойств поверхностных слоев материалов. Принцип действия заключается в том, что песок (или дробь) захватывается струей сжатого воздуха, при этом частицы песка или шарики дробы вылетают из сопла с большой скоростью. Поддача сжатого воздуха из сети трудностей не представляет, однако возникает сложность в надежной подаче песка или дробы из резервуара. Обычно резервуар ставится в стороне, но на небольшом расстоянии и сверху, чтобы подача происходила под действием собственного веса.

7. *Рабочие органы для окраски поверхности изделий и нанесения покрытий.* Окрасивание, как правило, осуществляется осадением на окрашиваемую поверхность распыленной краски. Рабочим органом является краскораспылитель. При пневматичес-

ком распылении выбрасывание распыленной краски происходит за счет подачи сжатого воздуха, краска поступает обычно из бака большой емкости самостоятельно вследствие разрежения в камере при истечении струи смеси краски с воздухом из сопла. Для подобных краскораспылителей, широко применяемых при ручной и автоматической окраске, расстояние до окрашиваемой поверхности составляет 200–300 мм, угол распыления зависит от состава краски и составляет обычно 40–80°. Однако при пневматическом распылении имеют место большие потери лакокрасочных материалов.

Способ безвоздушного распыления отличается тем, что распыление в сопле происходит без сжатого воздуха, только за счет большого давления, под которым подается подогреваемый лакокрасочный материал (давление (14–25 МПа) создается специальным, обычно шестеренчатым насосом). При безвоздушном распылении значительно снижается расход растворителей, упрощается нанесение утолщенных слоев (вследствие этого снижается необходимое число повторных нанесений лакокрасочного материала). Безвоздушное распыление используется преимущественно для окрашивания плоских и обтекаемых поверхностей. Все краскораспылители, установленные на роботах, имеют быстродействующие клапаны с пневматическим или электромагнитным управлением. Имеются приспособления для быстрой очистки сопла без разборки. Некоторые краскораспылители приспособлены для окрашивания распылением в электростатическом поле высокого напряжения. При этом наконец краскораспылителя, хорошо изолированный от корпуса, подключается к высокому напряжению, а окрашиваемое изделие заземляется. При выходе из сопла частицы распыленного лакокрасочного материала заряжаются, притягиваются к нему и поэтому, отгибая его, покрывают с боковых сторон и частично сзади. При этом значительно снижается расход материалов, появляется возможность упростить движения при окраске и не подводить краскораспылителя со всех сторон, а также допускать большие колебания сопла относительно требуемого положения и направления. Производительность краскораспылителей оценивается расходом краски. Расход обычно составляет доли килограмма в минуту. При необходимости значительного повышения производительности рабочий орган для окраски может быть выполнен комбинированным, т. е. может включать несколько краскораспылителей, включаемых и выключаемых как одновременно, так и независимо. Определенные трудности представляет размещение и закрепление шлангов, особенно при безвоздушном распылении, когда вследствие высокого давления шланги должны быть высокопрочными. При распылении в электростатическом поле трансформатор высокого напряжения (он может иметь малую мощность) располагают вблизи краскораспылителя. Необходимо при этом принимать специальные меры для предотвращения пробоев и обеспечения электробезопасности. Для нанесения

других покрытий с высокой вязкостью материалов (например, эмалей, мастик, грунтовок, шпатлевок) используют такие же распылители, но они работают при повышенном давлении и с подогретыми материалами.

8. *Рабочие органы для дозированной выдачи жидких и вязких материалов (например, для впрыскивания смазки в отверстия, нанесения капель клея с целью последующего закрепления на нем малых деталей, для контактного нанесения маркеров красками и т. п.).* Отличительной особенностью этих устройств является необходимость быстрого выдавливания из специального контейнера малых, вполне определенных порций материала. Схема одного из типовых дозаторов приведена на рис. 7.1. Контейнер представляет собой цилиндр, полость которого под поршнем целиком заполнена материалом. Поршень перемещается через передачу гайка — винт от шагового двигателя. Программируемым поворотом ротора шагового двигателя задается вполне определенное смещение поршня и, следовательно, вполне определенный объем выдавливаемого материала. Выходное отверстие контейнера может соприкасаться с поверхностью, но между ними может также быть определенный зазор. Распространены также дозаторы с пневматическими двигателями. Контейнер зачастую представляет собой самостоятельное устройство, которое непосредственно крепится к руке робота, но иногда контейнер устанавливается в специальный схват, при этом облегчается процесс его замены. Массогабаритные характеристики дозаторов могут быть самыми различными в зависимости от назначения.

9. *Рабочие органы для измерения и контроля.* Как отмечалось ранее, контрольно-измерительные работы не относятся к технологическим, они образуют самостоятельную группу. Соответственно их рабочие органы не являются технологическими. Но их удобно рассматривать именно здесь, поскольку в дальнейшем речь пойдет только о захватных устройствах. Для измерительных роботов типа координатно-измерительных машин рабочим органом является шуп или другое устройство, которое выдает электрический сигнал при касании поверхности измеряемого изделия или при приближении к нему на заданное расстояние (пример измерительного робота со шупом приведен в § 4.2). Подобный шуп сам по себе не является самостоятельным средством измерения или контроля, он лишь фиксирует факт касания. В этот момент времени регистрируются отсчеты координат, получаемые по сигналам датчиков перемещений (координат), находящихся на звеньях самого манипулятора, а после этого устройство управления дает команды приводам переходить на определение координат следующей точки. В других случаях рабочий орган представляет собой датчик (первичный измерительный преобразователь), он непосредственно выдает измерительную информацию, которая используется сама



Рис. 7.1

по себе или преобразуется в специальном вычислительном устройстве. При этом манипулятор играет роль просто носителя датчика, он переносит его в заданное место и, если это необходимо, прикладывает его к изделию. В нашей стране на базе серийных вспомогательных роботов созданы и успешно работают различные роботизированные контрольно-измерительные комплексы разного назначения. Назначением комплекса определяется выбор датчика. Разработан комплекс для измерения толщины немаetalлических покрытий (из пластмасс, резины и пр.) на стальном основании. При этом в качестве датчика используется магнитный толщиномер; робот по команде прикладывает его к покрытию, а результат измерения снимается со шкалы или цифрового индикатора прибора. В комплексе для измерения толщины таких же покрытий на немагнитном metalлическом основании в качестве датчика используется вихревой толщиномер. Для измерения толщины стенки изделия (например, трубы) в комплекс включается ультразвуковой толщиномер. Для выявления дефектов (трещин, раковин и пр.) применяются ультразвуковые и рентгеновские дефектоскопические устройства. Могут использоваться специальные датчики для контроля качества термообработки, однородности смесей в деталях из композитных материалов, степени намагнитченности и т. д. Нередко по результатам контроля деталей бывает необходимо производить их оперативную сортировку. В этих случаях стараются совместить датчик с захватным устройством, чтобы в зависимости от результатов контроля перенести деталь в определенную тару, которая предназначена для деталей соответствующей группы.

Перечисленные группы технологических рабочих органов не исчерпывают их разнообразия. Нужно отметить, что распространение областей применения промышленных роботов на новые отрасли и производства в первую очередь требуют расширения номенклатуры рабочих органов, а манипуляторы, по крайней мере, в первое время используются серийные. Учебники или учебные пособия не в состоянии в сколько-нибудь полной форме отразить этот процесс. Специалистам, встречающимся с новыми задачами применения роботов, необходимо искать сходные случаи в периодической литературе, используя для этого реферативный журнал «Промышленные роботы и манипуляторы».

§ 7.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАХВАТНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Рабочим органом вспомогательного (обслуживающего) промышленного робота является захватное устройство. По схемам и конструктивным решениям захватные устройства обычно просты, они значительно проще многих других устройств робота. Тем не менее при разработке и эксплуатации захватных устройств необходимо

учитывать некоторые их особенности. Во-первых, захватывание и надежное удерживание объектов различной формы, неточно установленных и ориентированных с большими погрешностями, может представлять большие трудности. Во-вторых, существует довольно много дополнительных требований к захватыванию (допустимые направления подвода захватного устройства к объекту, ограничения на габаритные размеры и т. д. В-третьих, на практике используется очень большое число схем захватных устройств, реализующих различные принципы и различающихся сложностью и возможностями (число их исчисляется десятками).

При серийном производстве промышленных роботов практически неосуществимо учесть все возможные сочетания требований к захватным устройствам, поэтому выпускаемые роботы зачастую не имеют своих штатных схватов, а даже когда они есть, их снимают и на их место устанавливают новые захватные устройства, специально спроектированные и изготовленные по месту эксплуатации. При этом в проектирование захватных устройств оказываются втянутым большое число технологов и конструкторов, которые не имеют прямого отношения к робототехнике. Опыт показывает, что положение, когда разработкой новых захватных устройств занимаются не разработчики роботов, а специалисты, занимающиеся внедрением, является типичным.

Наибольшее распространение получили схваты — зажимные механические захватные устройства, в которых захватывание и удержание объекта осуществляются за счет взаимного перемещения подвижных частей. Подробные сведения о схемах и конструкциях схватов и методах их расчета можно найти в монографии [19].

На рис. 7.2, а приведена кинематическая схема одного из самых распространенных схватов — клещевого схвата, на рис. 7.2, б изображен его внешний вид, а на рис. 7.2, в показаны его основные составные части. Захватывание производится за счет поворота рычагов, приводимых в движение от штока пневмоцилиндра. На концах рычагов крепятся так называемые рабочие элементы (в зависимости от формы они часто называются губками,

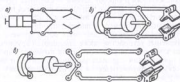


Рис. 7.2

пальцами или даже челюстями). Клещевой схват является средним по сложности, бывают захватные устройства и более простые и значительно более сложные.

Захватные устройства классифицируются по нескольким признакам. Основные из них приводятся ниже.

1. *По способу приложения сил к удерживаемому объекту* — притяжные (или притягивающие), поддерживающие и зажимные (зажимающие). В притяжных захватных устройствах по поверхности создается притягивающая сила любой природы (чаще всего пневматическая или магнитная — взаимодействий). Поддерживающие захватные устройства представляют собой просто опоры, закрепляемые на руке робота; объект на них удерживается только за счет силы веса. В зажимных захватных устройствах объект удерживается вследствие зажатия между подвижными частями, но не обязательно с жесткими звеньями.

2. *По физическому принципу создания сил взаимодействия объекта с рабочими элементами* — механический, вакуумный, магнитный принципы. При механическом принципе нет никаких других сил взаимодействия, кроме контактных, возникающих, когда рабочий элемент нажимает, давит на объект (при этом источники создания сил могут быть различными, не обязательно механическими). Вакуумный принцип основан на создании разрежения (вакуума) в камере, вследствие чего происходит присасывание камеры к объекту. Контактные силы по краям камеры могут действовать на объект, но основной удерживающей силой является аэростатическая сила, пропорциональная разности давлений. Магнитный принцип основан на использовании эффекта притяжения стального предмета магнитом (или электромагнитом).

3. *По степени универсальности* — универсальные, многоцелевые, специализированные и специальные (перечисление идет в порядке убывания универсальности и сужения специализации). Четко определяется специальное захватное устройство, оно предназначается для захватывания объектов за поверхности одной и той же формы и одного размера, причем только в одном и том же положении.

4. *По возможностям и способу замены* — сменные (вручную или автоматически). Если захватные устройства являются просто сменными, то соединения их с рукой являются обычными неподвижными разъемными (например, фланцевыми), при этом смена захватных устройств требует определенных затрат времени. Быстро-сменные захватные устройства также заменяются вручную, однако специальная конструкция узла крепления позволяет производить замену без применения специальных инструментов и быстро (за несколько секунд). Автоматическая замена осуществляется по программе, без участия человека.

Существуют и другие классификационные признаки. Кроме того, отдельные типы и виды захватных устройств имеют свои особен-

ные классификации. Далее рассматриваются только те захватные устройства, которые получили наибольшее распространение.

Независимо от принципа действия возможность применения захватных устройств определяют основные эксплуатационные показатели. Перечислим их.

1. *Показатели несущей способности.* Предположим, что объект захвачен захватным устройством и удерживается им. Приложим к точке объекта, находящейся в центре схвата, по направлению оси z силу F_z (в качестве примера на рис. 7.3 изображено сечение объекта в рабочих элементах механического зажимного схвата). Будем увеличивать эту силу до тех пор, пока захватное устройство окажется не в состоянии удерживать объект (схват на рис. 7.3 начнет раскрываться). Значение силы $F_z = F_{zp}$, при котором это происходит, назовем предельным. После этого уберем силу F_z и приложим силу по оси y . Будем увеличивать силу F_y также до момента, когда захватное устройство не сможет удерживать объект. Соответствующее значение силы F_y также является предельным. Аналогично определяется предельное значение F_x силы F_x . Заметим, что сами предельные состояния могут быть различными (отрыв объекта от опоры, опрокидывание, проскальзывание), но когда определены предельные значения сил, это становится несущественным. Приложение сил противоположно направлениям осей x , y или z может давать другие предельные значения, соответственно F_{xp} , F_{yp} и F_{zp} . Всего, таким образом, получается шесть предельных значений сил. Совокупность этих значений характеризует несущую способность захватного устройства: составляющие сил тяжести и сил инерции по осям не должны превышать предельных значений. А сами предельные значения определяются для разных типов схватов и даже для разных схем по-разному. Совместное приложение сил по осям (при этом вектор F суммарной силы имеет любое направление) требует наложения ограничений, которые на рис. 7.3 изображены многоугольником. При быстрых движениях на разгоне и особенно при торможении силы инерции могут значительно (в 10–20 раз) превышать силу веса объекта. Поэтому для надежности удерживания объекта нужно, чтобы предельные значения сил в несколько десятков раз превышали массу объекта. Если объект может захватываться не за середину, а близко к концу, запасы по несущей способности должны быть еще увеличены.

2. *Показатели базирования.* Когда объект находится в захватном устройстве, положение его фиксируется. Однако зачастую объект может быть зафиксирован в разном положении, некоторые координаты объекта могут принимать различные значения. Поясним это на примере поддерживающего захватного устройства в виде



Рис. 7.3

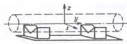


Рис. 7.4

призматических опор (рис. 7.4). Цилиндрический объект может занимать положения, различающиеся смещениями по оси u и поворотами вокруг той же оси u . Пока объект лежит на опорах, невозможны смещения по осям x и z , а также повороты вокруг тех же осей, следовательно, по отношению к четырем параметрам положения (смещение по осям x и z и поворотам вокруг осей x и z) осуществляется базирование. По отношению к двум остальным параметрам (смещение по оси y и поворот вокруг оси y) базирование не имеет места. Общее число параметров положения объекта равно шести; число параметров, по которым осуществляется базирование, зависит от конфигурации объекта и от формы рабочих элементов. Показателями базирования как раз являются число и названия параметров положения, по которым осуществляется базирование.

3. *Способность захватывания и фиксации объекта в захватном устройстве.* Здесь возможны два варианта. В первом необходимо, чтобы происходил контакт захватного устройства с объектом перед захватыванием, иначе захватывания не произойдет (например, присоску вакуумного схвата нужно приложить к плоскости объекта). Во втором случае достаточно просто подвести захватное устройство к объекту, а захватывание произойдет при срабатывании захватного устройства (так, электромагнит притягивает деталь на небольшом расстоянии; механический схват захватит деталь, если она установлена в зоне между двумя рабочими элементами). При срабатывании захватного устройства объект обычно немного перемещается и переходит в положение, при котором он оказывается базированным по некоторым параметрам. Если базирование действительно происходит в процессе захватывания по всем параметрам, по которым это возможно, то говорят, что происходит самоустановление объекта в схвате. Однако может получиться так, что при срабатывании схвата объект застрянет в неправильном положении и базирования не произойдет. Например, при захватывании прямоугольного сечения объекта параллельными рабочими элементами (рис. 7.5, а) объект может занять требу-

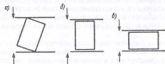


Рис. 7.5

емое положение (рис. 7.5, б), но может застрять в повернутом положении (рис. 7.5, в). Желательно, чтобы самоустановление объекта происходило при достаточно больших отклонениях положения объекта перед захватыванием, тогда высокой точности выведения захватного устройства в точку захватывания не потребуются.

§ 7.3. ВАКУУМНЫЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Несмотря на различие физических принципов, захватные устройства обоих типов имеют общие черты: они приспособлены для захватывания чаще всего плоских и относительно тонких объектов (заготовок, деталей); они могут не иметь подвижных элементов, для них обоих требуется внешний источник энергии.

Рассмотрим сначала *вакуумные захватные устройства*. Схема простейшего вакуумного захватного устройства показана на рис. 7.6, а. Рабочим элементом является присоска, чаще всего конической формы, из резины или пластмассы. По трубке из камеры внутри присоски отсасывается воздух. Если камера снизу закрыта плоскостью захватываемого объекта, то в ней возникает разрежение и объект поджимается к присоске. Вакуум создается специальным откачивающим насосом или эжекторным устройством (см. рис. 7.6, а). Слева поступает сжатый воздух; при истечении из сопла в камере создается разрежение, воздух из камеры подсасывается в струю, свободно выходящую направо. Для эжектора специальный компрессор не требуется, сжатый воздух берется из цеховой магистрали.

Давление внутри камеры существенно зависит от протечек воздуха по контуру, разность давлений обычно составляет несколько десятых атмосферного давления, поэтому удельная удерживающая сила (сила на единицу площади) составляет несколько ньютонов на квадратный сантиметр. Если считать, что захватываемая деталь — плоская и ее площадь в 10 раз превышает площадь под присоской, а удерживающая сила должна быть в 20 раз больше силы веса (это необходимо для надежного удерживания во время переноса), то максимально допустимая толщина составляет около

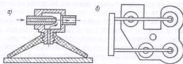


Рис. 7.6

3 мм (если деталь стальная). В тех случаях, когда плоская деталь выгнутой формы, имеет отверстия и прорези, необходимо искать сплошную площадку между отверстиями и краями возможно ближе к центру масс. Для расширения возможностей используют два приема: изменяют форму присоски в плане (например, делают присоску выгнутой, тогда площадка под присоской вместо круговой — рис. 7.6, а — становится продолговатой) или выполняют вакуумное захватное устройство в виде нескольких присосок, закрепленных на одной раме. В последнем случае часто предусматривается возможность перестановки и перезакрепления присосок, что позволяет в заданных пределах приспособляться к изменению контуров деталей (рис. 7.6, б). Крепления присосок к раме часто выполняются шарнирными (т. е. присоски могут качаться). Это делается для того, чтобы возможные перекосы не влияли на надежность контакта присоски с объектом. Так, если захватывается тонкий лист, сильно прогибающийся под собственным весом, то шарнирное закрепление дает возможность приспособляться к изменению формы. Возможно применение вакуумных захватных устройств для захватывания неплюсских объектов. Для этого закрепляют небольшие одинаковые плоские присоски на специальной раме, чтобы точки их установки повторяли форму поверхности (это годится, когда поверхности в зонах присосок плоские или имеют достаточно малую кривизну), либо используется специальное профилирование присосок, которые в этом случае должны достаточно точно воспроизводить форму объекта. Подобные захватные устройства применяются, например, при переносе труб, кинескопов телевизоров. Заметим, что присоски со специально профилированными кромками являются узко специальными, при изменении формы или параметров объектов (например, диаметра захватываемой трубы) необходима замена рабочего элемента.

Серьезным недостатком вакуумных захватных устройств является низкая точность позиционирования. Упругость конструкции присоски приводит к тому, что при присасывании объекта он смещается по направлению к основанию присоски, при переносе возникают колебания. Для повышения точности и исключения колебаний необходимо жесткое базирование. Это достигается двумя способами. Первый заключается в том, что внутрь камеры вводятся жесткие упоры; при подаче вакуума вследствие деформаций рабочего элемента объект садится на эти упоры и его положение при этом оказывается жестко зафиксированным. Второй способ заключается в том, что сам рабочий элемент делается жестким. Чтобы уменьшить протечки, кромки приходится делать достаточно широкими. Однако для обеспечения надежности требуется высокое качество обработки поверхностей, несущая способность при тех же габаритных размерах оказывается несколько ниже. Вакуумные захватные устройства широко используются, но высокие тре-

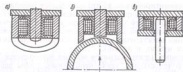


Рис. 7.7

бования к шероховатости поверхностей, сохранение плоскостей и отсутствие отверстий ограничивают их применение. Бывает так, что при обслуживании прессов установка заготовки производится роботом с вакуумным захватным устройством, а после вырубки отверстий и гибки ее можно захватить только механическим схватом. Вакуумный схват не годится также при работе с горячими заготовками.

Электромагнитные захватные устройства могут захватывать и удерживать только объекты из ферромагнитного материала (стали, но не лубой). Варианты схем электромагнитов многочисленны. Простейшим является кольцевой электромагнит с одной обмоткой (рис. 7.7, а). Для увеличения несущей способности электромагниты выполняют многополюсными. Электромагнитные устройства используются в качестве станочных приспособлений для фиксации и закрепления заготовок с плоским основанием на плоских столах. При этом электромагнитный сил достаточно, чтобы удерживать заготовку во время обработки (например, шлифования). Захватные устройства роботов с плоской поверхностью рабочего элемента при захватывании объектов за плоскость также имеют большую несущую способность. Специальные электромагнитные захватные устройства высокой несущей способности получаются, если форма поверхности неплюская, но согласована с объектом (рис. 7.7, б, в): захватывается труба большого диаметра и сплошная цилиндрическая деталь типа шпильки). Как и при использовании вакуумных захватных устройств, при захватывании больших тонкостенных объектов относительно небольшие электромагниты устанавливают на одной раме. Если возможны большие деформации объекта (например, в виде листа), закрепление делается нежестким.

Важным достоинством электромагнитных захватных устройств является возможность дистанционного захватывания: нет необходимости прикладывать электромагнит к объекту, притягивание осуществляется через зазор. Электромагнит может захватывать детали из «навала». Иногда можно допустить, чтобы при этом захватывалась целая гроздь (например, при загрузке вибробункера). Однако, когда необходимо выбрать одну деталь из «навала» и

к тому же ориентировать ее, то это оказывается возможным в ряде случаев за счет целенаправленных изменений силы тока в обмотках секционированного электромагнита. Иногда требуемое ориентирование в положении захватывания можно получить вследствие притягивания с достаточно большого расстояния (деталь ориентируется, как нужно, в полете).

Для питания электромагнитов обычно используется постоянный ток. В тех случаях, когда необходимо, чтобы электромагнитное поле проникало только на малую глубину, используется питание переменным током (обычно повышенной частоты). При питании переменным током происходит индукционный нагрев, который может быть существенным. В некоторых случаях удается заменить электромагниты постоянными магнитами, при этом удержание объекта не ограничивается во времени, не требуется никакого питания. Однако возникают трудности при освобождении объекта: необходимо, чтобы на конечной позиции объект зажался и магнит можно было оторвать от него.

Наиболее существенное ограничение по применению электромагнитных захватных устройств заключается в том, что материал объекта должен быть ферромагнитным. Есть и другие недостатки: при захватывании плоской заготовки из лачки могут налипать и оставаться стальные стружка и пыль; несущая способность захватного устройства в большой степени зависит от качества поверхностей и искажений формы. Для обеспечения возможности поштучного захватывания заготовок из лачки приходится применять специальные стационарные устройства разделения (например, электромагнитные «распушители»). Поверхности рабочих элементов необходимо периодически очищать тем или иным способом.

§ 7.4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЗАХВАТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Рассмотрим простейшие механические захватные устройства, не имеющие двигателей. Их часто называют *пассивными*. К ним относятся, в первую очередь, поддерживающие подвижные опоры. Форма такой опоры — единственного рабочего элемента — может быть согласованной, полусогласованной и несогласованной (имеется в виду — с формой поверхностей захватываемого объекта). Согласованная форма характеризуется повторением форм поверхностей объекта (на ограниченных участках); если не учитывать малые зазоры, то можно принимать, что контакт происходит по поверхностям. Захватные

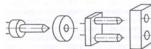


Рис. 7.8

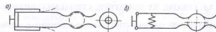


Рис. 7.9

устройства с согласованной формой обычно используются, когда поверхности простые (плоскости, цилиндры). Примером полусогласованной формы является призматическая опора для цилиндра. Несогласованная форма является универсальной. Так, плоским рабочим элементом можно захватывать любой объект (конечно, только в некоторых положениях). Поддерживающее захватное устройство может обеспечивать высокую несущую способность только по отношению к собственной массе. Предельно допустимые силы инерции (в первую очередь, боковые) должны быть значительно ниже силы тяжести, поэтому поддерживающие захватные устройства применяются для роботов, совершающих медленные движения. Для объектов, имеющих отверстия, пассивные механические захватные устройства могут иметь вид штыря, вил и т. п. (рис. 7.8).

Пассивные захватные устройства могут быть зажимными. Зажимание объекта при этом осуществляется пружинами (рис. 7.9, а). При захватывании схват надавливается на итулку, свободно надетую на штифт. При этом упругие пластинчатые пружины — чанги — расходятся. Зажатие итулки происходит за счет того, что чанги предварительно сжаты. После захватывания итулка снимается со штифта движением вверх. При установке итулки на конечной позиции она надевается на штифт, после чего схват можно снять со итулки, смещая его назад. Если переносимые детали легкие, то схват может их надежно удерживать даже при быстрых движениях. Аналогичный схват может быть выполнен на жестких рычагах, которые свободно вращаются вокруг осей, но сводится пружинной (рис. 7.9, б). Принципиальным недостатком таких схватов является необходимость удерживания объекта при его захватывании и отпускании.

В зажимных захватных устройствах удержание может осуществляться не за счет пружин, а за счет сил веса. Схема такого схвата приведена на рис. 7.10. Ограничения на ускорения движения при этом примерно такие же, как для поддерживающих захватных устройств, т. е. такие схваты могут работать только при медленных движениях. В частности, подобные схваты применяются в конструкциях самобалансирующихся манипуляторов, приспособленных для переноса тяжелых объектов вручную, и копирующих манипуляторов.



Рис. 7.10

§ 7.5. СХВАТЫ, ИХ ДВИГАТЕЛИ, СХЕМЫ МЕХАНИЗМОВ

Отличительной особенностью *активных зажимных механических схватывающих устройств*, которые далее будем называть просто схватами, является наличие двигателей, при работе которых перемещаются рабочие элементы и создаются усилия захватывания. Схват подразделяют на следующие составные части: узел крепления к руке, двигатель, механизм передачи движений и усилий, рабочие элементы.

Узлы крепления к руке обычно выполняются простыми. При этом используется фланцевое соединение. Однако конструкции быстроразъемных схватов, приспособленных для замены вручную, без применения специальных инструментов и без регулировки, особенно схватов, заменяемых автоматически, могут быть достаточно сложными. Нередко в эти узлы включаются двигатели (чаще всего пневмоцилиндры), они создают усилие, притягивающее основную схвата к руке. Иногда в узел крепления входит электромагнит, который выполняет ту же функцию. Существуют конструкции, в которые двигатели не входят, фиксирование схвата осуществляется специальными пружинными устройствами, закрепление и открепление схвата происходит при повторном выдвижении руки.

Следующими идут основные *двигатели* схватов, которые служат для создания усилий захватывания. Наибольшее распространение (более чем в 90 % конструкций схватов) получили пневмоцилиндры. Они применяются даже тогда, когда сам манипулятор имеет другие приводы (гидравлический или электромеханический). Иногда применяются вращательные (поворотные) пневмодвигатели, что связано с рядом их преимуществ. Пневмодвигатели имеют малую массу (значительно меньшую, чем электродвигатели), для них не нужны редукторы, они легко обеспечивают высокое быстродействие (время срабатывания и отпускания около 0,1 с), протечки воздуха не создают помех работе схвата. Управление приводом схвата обычно выполняется цикловым, перемещение поршня пневмоцилиндра осуществляется от одного крайнего положения до другого — от одного упора (когда схват максимально раскрыт) до другого (когда объект зажат в схвате).

Часто в схватах применяются пневмоцилиндры одностороннего действия с одной рабочей полостью. При подаче в нее сжатого воздуха поршень перемещается вперед (рис. 7.11, а). При соединении этой полости с атмосферой перемещение поршня в противоположную сторону происходит под действием сжатой возвратной пружины (чаще она располагается внутри нерабочей полости цилиндра). Как правило, захватывание объекта происходит под действием сжатого воздуха, а пружина раскрывает схват, потому что пневмоцилиндр может создавать достаточно большую силу при относительно большом ходе, а пружины при тех же габаритных размерах значительно проигрывают пневмоцилиндрам. Однако

с точки зрения техники безопасности это нежелательно: при отключении питания объект должен оставаться зажатым в схвате. Поэтому по возможности стараются устанавливать пружину так, чтобы под ее действием происходило захватывание. Пневмоцилиндры схватов обычно выполняются короткоходовыми (ход меньше диаметра поршня).

Вместо пневмоцилиндров с малыми ходами устанавливают мембранные двигатели. Схема его приведена на рис. 7.11, б. Как и у пневмоцилиндра одностороннего действия, рабочая полость здесь только одна, в другой полости имеется возвратная пружина. Подвижная часть имеет центральную жесткую вставку, мембрана изготовлена из материалов, допускающих большие деформации (резины или пластика). Ход может достигать нескольких десятков долей диаметра. Мембранные двигатели значительно проще и дешевле пневмоцилиндров, что особенно важно при изготовлении схвата по месту эксплуатации. Кроме того, исключаются протечки и снижаются силы трения. Однако заметно снижается надежность, особенно в условиях работы при повышенных температурах.

В качестве пневмодвигателей можно использовать надувные оболочки. Специальным выбором изменений толщины оболочки по поверхности, гофрированием части поверхности, наложением каркаса и размещением нитей корда в стенках оболочек можно получать желаемые изменения формы при подаче давления внутрь оболочки. На рис. 7.12, а показано, что при расположении нитей корда в виде колец при подаче давления оболочка удлиняется, при этом почти не изменяются поперечные размеры. Такой оболочкой можно заменить пневмоцилиндр. Если нити корда уложены по винтовой линии, то оболочка закручивается (рис. 7.12, б) и поэтому может заменять вращательный пневмодвигатель. Однако, несмотря на простоту, такие устройства сложны в изготовлении и мало надежны.

Гидродвигатели, которые часто применяются в зажимных приспособлениях станков, так как позволяют получать большие усилия захватывания, используются и в схватах роботов, причем только тогда, когда другие двигатели манипулятора — также гидравлические и для них имеется своя насосная станция. Давления ра-

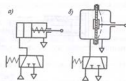


Рис. 7.11

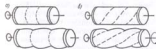


Рис. 7.12

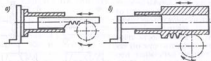


Рис. 7.13

бочей жидкости (масла) велики, поэтому размеры гидроцилиндров получаются малыми. В схватах роботов устанавливают и гидродвигатели плунжерного типа, как обычной схемы (рис. 7.13, а), так и обратной (подвижным является цилиндр, а плунжер неподвижен — рис. 7.13, б).

В качестве двигателей, приводящих в движение механизмы схватов и создающих усилие захватывания, могут быть использованы электромагниты. Одна из простейших схем изображена на рис. 7.14. Сжатие схвата происходит при подаче напряжения на электромагнит, раскрытие происходит под действием пружины. Такие схваты просты и удобны, но их использование ограничено узким диапазоном: сила притяжения быстро падает с увеличением зазора, поэтому можно допускать только малые изменения зазора.

В роботах с электроприводом в качестве двигателей схватов находят применение пневмоцилиндры. Однако более перспективны схваты с электроприводом. Их используют, в частности, в серийных роботах, в результате чего тип привода унифицируется по всему манипулятору, упрощается система управления, однако усложняется конструкция (необходим замедляющий редуктор с большим передаточным отношением). Кроме того, электродвигатель имеет большую массу, чем пневмодвигатель, необходимо принятие специальных мер для сохранения усилия захватывания при отключенном двигателе (в частности, тормозных устройств), время захватывания значительно больше, чем в случае пневмопривода. Вследствие этих причин электродвигатели в схватах не получили широкого распространения.

Рассмотрим механизмы передачи движения и усилия от выходного звена двигателя к рабочим элементам. Известны сотни схем механизмов передачи, на практике используются лишь десятки. Выясним, какие же функции выполняет механизм передачи, каким требованиям он должен удовлетворять.

1. Механизм передачи может изменять вид движения выходного звена

двигателя. Он может преобразовывать поступательное движение во вращательное и наоборот.

2. Механизм может изменить направление движения рабочих элементов по отношению к направлению перемещений выходного звена двигателя (например, шток пневмоцилиндра перемещается по продольной оси схвата, а рабочие элементы должны перемещаться по поперечной оси).

3. Механизм передает движение от одного звена к одному или к нескольким рабочим элементам.

4. Механизм может увеличивать усилие, уменьшая ход, или наоборот, уменьшать усилие, увеличивая ход.

5. Последние звенья механизма, несущие рабочие элементы, задают вид их перемещений и крайние положения. Они часто определяют габаритные размеры схвата в целом.

С учетом этих функций рассмотрим наиболее распространенные схемы механизмов схватов, по возможности группируя их по типам. Далее предполагаем, что двигателем является пневмоцилиндр, что ось руки горизонтальна и схват крепится к руке справа. Наиболее широкое применение нашли плоские механизмы передачи и сначала рассматриваются именно они. Простейшей является схема с прямой передачей (рис. 7.15, а). Подвижным здесь является только один рабочий элемент, перемещающийся прямолинейно. Используется пневмоцилиндр одностороннего действия, возвратная пружина помещается в штоковой полости, захватывание происходит при подаче давления в левую, рабочую, полость. Вследствие прямолинейного перемещения рабочего элемента удобно захватывать любые объекты, в том числе плоские, с вертикальными параллельными плоскостями. Схват с такой схемой может быть универсальным, широкодиапазонным. При необходимости его легко можно сделать плоским. Однако он имеет и серьезные недостатки. Для захватывания предварительно нужно выдвинуть руку вперед, а затем опустить (как показано стрелками), в то время как для многих других схватов достаточно выдвинуть руку вперед. Правда, схват может быть установлен поперек, как показано на рис. 7.15, б, и тогда достаточно этого одного движения, но при этом значительно возрастают размеры по вертикали. Иногда неудобно, что один из рабочих элементов неподвижен; тогда при захватывании круглых сечений различных диаметров центры сечений будут занимать различные положения. Наконец, усилие захватывания нельзя изменять, оно равно усилию на штоке пневмоцилиндра.

Рассмотрим теперь схемы шарнирно-рычажных механизмов (рис. 7.15, в). Отличительной их чертой является то, что цилиндр — качающийся и встроен в механизм передачи, в результате чего схват получается компактным, но с достаточно большими поперечными размерами. Схваты с такой схемой обычно используют для захватывания круглых объектов большого диаметра (напри-

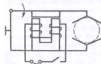


Рис. 7.14

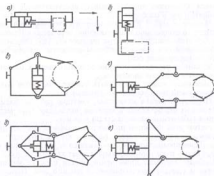


Рис. 7.15

мер, труб); они являются узкодиапазонными. Усилие захватывания меньше усилия на штоке, а ход рабочего элемента — больше. Неподвижность одного из рабочих элементов является недостатком, если диаметр захватываемого объекта может быть различным.

Далее рассмотрим схваты с двумя подвижными рабочими элементами, перемещающимися симметрично относительно средней плоскости (продольной оси). Один из распространенных вариантов схемы клещевого схвата приведен на рис. 7.15, *г*. Рычаги, на которых крепятся рабочие элементы, совершают вращательные движения, поэтому схваты с такой схемой используются для захватывания объектов круглого сечения. Отличительной особенностью является использование рычагов 1-го рода. При этом в зависимости от соотношения между плечами рычагов можно увеличивать и уменьшать усилие захватывания. С увеличением размера объекта усилие захватывания уменьшается, но так как такие схваты обычно являются узкодиапазонными, изменение усилия особого значения не имеет. При изображенном положении пневмоцилиндра схват оказывается вытнутым по продольной оси. Другой вариант установки цилиндра (рис. 7.15, *д*) позволяет сократить размер по этой оси.

Схема клещевого схвата (рис. 7.15, *е*) отличается тем, что в ней используются рычаги 2-го рода, а качающиеся рычаги вынесены наружу. В результате достигается максимально доступное для клещевых схватов сокращение размеров по продольной оси и

расширение диапазона. Усилие захватывания меньше усилия на штоке пневмоцилиндра.

Все клещевые схваты могут использоваться для захватывания плоских объектов только в том случае, если толщина их постоянна или изменяется в узких пределах (иначе плоскости рабочих элементов при повороте не прилегают к поверхности объекта — рис. 7.16). Устранить этот недостаток можно усложнением схемы шарнирно-рычажного механизма. Для этого в схему вводятся шарнирные параллелограммы (рис. 7.17, *а*). Рабочие элементы здесь перемещаются поступательно, их плоскости все время остаются параллельными друг другу, но перемещение происходит не по прямым, а по дугам окружностей, как у обычного клещевого схвата.

Другая схема с шарнирными параллелограммами изображена на рис. 7.17, *б*. Здесь рабочие элементы перемещаются поперек, прямолинейно. Конструкции, которые строятся по обеим схемам, получаются несколько громоздкими, но они просты в изготовле-



Рис. 7.16

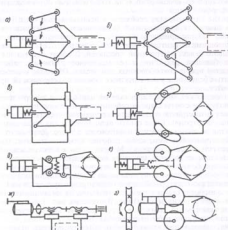


Рис. 7.17

нии, поскольку в них имеются только вращательные пары. Такие схваты встречаются в серийных роботах.

Использование ползунов, перемещающихся по направляющим, позволяет вновь упростить схему (рис. 7.17, в). Рабочие элементы перемещаются прямолинейно, с увеличением раскрытия усилие захватывания увеличивается. Увеличение диапазона раскрытия требует увеличения обоих размеров механизма. Встречаются также схемы с кулисными механизмами (рис. 7.17, з).

Имеется большая группа схем схватов, в которых основу составляет клешневой хват, или шарнирные параллелограммы, или ползуны с направляющими, но передача движений и усилий осуществляется с помощью других передач. В схеме на рис. 7.17, д в клешневом хвате используется кулачковая передача, выбором профиля кулачка можно получать требуемые значения усилия захватывания и зависимость этого усилия от раскрытия. Раскрытие схвата и прижатие роликов к кулачку обеспечивает пружина. В схеме на рис. 7.17, е в клешневом хвате используется реечная передача, которая позволяет как угодно широко раскрывать хват (это может быть необходимо, если захватываемый объект находится в широкой зоне).

Другие типы передач необходимо использовать в тех случаях, когда двигатель вращательный (в частности, электродвигатель). На рис. 7.17, ж приведена схема схвата с прямолинейными направляющими и винтовой передачей, а на рис. 7.17, з — схема клешневого схвата с червячной передачей. В обоих случаях имеет место большая редукция, т. е. медленное движение рабочих элементов при высокоскоростных двигателях. Обычные многоступенчатые редукторы в конструкциях схватов практически не применяются.

Из неплоских механизмов схватов наибольшее распространение получили схваты с тремя рабочими элементами, перемещающимися симметрично относительно продольной оси (типа трехкулачкового патрона). Такие схваты используются для захватывания объектов за цилиндрические поверхности с торца. Для такого захватывания необходимо, чтобы рабочие элементы перемещались поступательно (без вращения). Многие из схем плоских механизмов, в которых рабочие элементы перемещаются поступательно, можно преобразовать в схемы с тремя рабочими элементами. Для этого нужно взять половину механизма и повторить три раза в продольных плоскостях, развернутых относительно друг друга на 120°. Однако имеются схемы с тремя элементами, не имеющими аналогов, в виде плоских механизмов. В схеме на рис. 7.18, а двигатель вращательный, движение через зубчатые колеса передается рычагам, несущим рабочие элементы.

Для захватывания длинномерных объектов нередко используются обычные плоские механизмы схватов. При этом желательно захватывать такой объект за середину. Однако зачастую необходи-

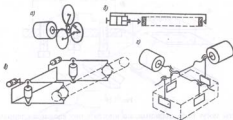


Рис. 7.18

мо захватывать длинномерные объекты за концы. Для этого просто удлиняются звенья и вносятся некоторые изменения в компоновку тех схем, которые были рассмотрены ранее. Так, схема на рис. 7.18, б является видоизменением схемы на рис. 7.15, а: такие схваты могут использоваться для захватывания длинных валов за центровые отверстия в торцах. Если длинномерные объекты нужно захватывать поперек, то нередко приходится устанавливать два двигателя, как в схеме схвата на рис. 7.18, в, по существу, представляющего собой объединение двух клешневых схватов. Два двигателя устанавливаются и в тех случаях, когда нужно осуществлять базирование независимо по двум координатам. Так, хват, схема которого изображена на рис. 7.18, г, осуществляет базирование объекта в форме прямоугольного параллелепипеда по двум горизонтальным осям. Установка двух двигателей значительно усложнит конструкции схватов и для этого требуются серьезные обоснования.

Рассмотрим теперь, как выбираются рабочие элементы, непосредственно приходящие в контакт с захватываемым объектом. Ранее отмечалось, что по степени согласованности рабочих элементов с объектом их можно разделить на согласованные, полусогласованные и несогласованные. При этом рабочие элементы, согласованные для одной формы поверхностей объекта, могут быть несогласованными для другой формы. Так, плоскопараллельные рабочие элементы являются согласованными для объектов, имеющих параллельные плоскости (рис. 7.19, а), но они же являются несогласованными для объектов, например, с коническими поверхностями. Согласованность достигается только на отдельных участках; этих участков может быть больше или меньше. Так, для втулки согласованными являются рабочие элементы: гладкий, с кольцевым выступом и с канавкой (рис. 7.19, б). Рабочие эле-

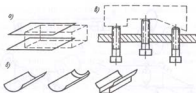


Рис. 7.19

менты могут быть гладкими, но иногда в них вводятся специальные регулируемые винты с гладкими профилированными головками. Установкой длин выступающих частей можно приспособляться к форме захватываемого объекта (рис. 7.19, а). Этот и другие подобные приемы повышают степень согласованности рабочих элементов с объектом.

Для захватных устройств важными параметрами являются показатели базирования. Желательно, чтобы число параметров — координат, по которым осуществляется базирование, было наибольшим. Для многих объектов возможно базирование по шести координатам, т. е. полное базирование. На рис. 7.20, а приведена схема полного базирования объекта в виде тройника. Нижний рабочий элемент имеет три вилки, именно он осуществляет базирование; верхний рабочий элемент (на рисунке не показан) только прижимает объект к нижнему, его форма может быть любой. В таком схвате объект не может ни перемещаться, ни поворачиваться без раскрытия схвата. Форма нижнего рабочего элемента может быть иной, например, согласованной с объектом; при этом характер базирования останется неизменным. При полном базировании (по шести координатам) несущая способность схвата остается высокой, если даже силы трения в точках контакта малы. Если полное базирование возможно, то выбрать форму рабочих элементов согласованной достаточно просто. Для примера на рис. 7.20, б изображены рабочие элементы, приспособленные для захватывания бруса прямоугольного сечения с полным его базированием. Такие рабочие элементы допускают изменение высоты бруса, но при изменении любого из горизонтальных размеров базирование перестает быть полным. Построение же рабочих элементов полусогласованной формы, допускающих изменение нескольких параметров прямоугольного бруса при его полном базировании, представляется сложным.

Неполное базирование (менее чем по шести координатам) может иметь место из-за ограничений на захватывание или особенностей формы объекта. На рис. 7.20, в показано захватывание пря-

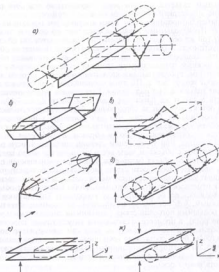


Рис. 7.20

моугольного бруса двумя рабочими элементами, нижний из которых имеет две вилки, а верхний — одну. Форма рабочих элементов — полусогласованная, характер захвата не изменяется при изменении любого из трех размеров. Однако базирование обеспечивается только по пяти координатам. Остается произвольным положение по оси z ; жесткое фиксирование по этой оси осуществляется только за счет сил трения. Неполное базирование здесь обусловлено ограничением на захватывание, а именно тем, что не допускается захватывание за торцы. На рис. 7.20, г показано захватывание объекта в виде кругового цилиндра двумя трехпальцевыми рабочими элементами. Форма рабочих элементов — также полусогласованная, допускается захватывание цилиндров разных диаметров. Базирование происходит по пяти координатам, про-

извольным является поворот вокруг продольной оси. Это обусловлено симметрией объекта относительно этой оси.

Пример базирования по четырем координатам показан на рис. 7.20, д. Произвольными являются смещение по оси u и поворот вокруг той же оси. Здесь одновременно проявляются два фактора: непустотность захватывания за торцы и осевая симметрия объекта. В плоскопараллельном схвате (рис. 7.20, е) базирование объекта с плоскими параллельными гранями осуществляется по трем координатам, произвольными являются смещения по осям x и y и поворот вокруг оси z . По этим координатам удержание происходит только за счет сил трения. Базирование цилиндрического объекта в таком же плоскопараллельном схвате (рис. 7.20, ж), когда объект захвачен за образующую, осуществляется только по двум координатам. Отметим, что по отношению к цилиндрическому объекту форма рабочих элементов плоскопараллельного схвата является несогласованной. Таким образом, наблюдается следующая тенденция: при уменьшении степени согласованности рабочих элементов с объектом чаще всего уменьшается число координат, по которым объект фиксируется, при этом уменьшаются параметры несущей способности схвата (поскольку по большому числу координат удержание осуществляется только за счет сил трения).

Как отмечалось ранее, желательно, чтобы базирование объекта производилось по большому числу координат. Тогда становится возможным, что объект, установленный на позиции захватывания с большими погрешностями (линейными смещениями и углами поворота), в процессе захватывания займет точное положение относительно основания схвата и, если сам манипулятор достаточно точен, будет достаточно точно подан на заданную позицию. Конечно, по некоторым координатам базирование может оказаться принципиально невозможным (например, для вала — по углу поворота вокруг оси).

Однако, если базирование осуществляется по требуемому числу координат, это не гарантирует того, что в процессе захватывания объект займет нужное положение — его может заклинить при захватывании в промежуточном положении. Чтобы на самом деле происходило базирование, должны выполняться определенные условия самоустановки объекта в схвате.

Отметим, что не всегда бывает необходимо или желательно базирование объекта по возможно большому числу координат. Зачастую важно повысить степень универсальности схвата. Для этого рабочие элементы выполняют несогласованными, а это приводит к уменьшению числа координат, по которым осуществляется базирование. К необходимости отказа от жесткого базирования приводит также такая типовая ситуация. Предположим, что на исходной позиции имеются значительные смещения объекта от требуемого положения, но его перемещения исключены, он зажат в неподвижном зажимном устройстве. Тогда, если объект в схвате

базируется по большому числу координат, при сжатии схвата вследствие рассогласования положения объекта и схвата могут возникнуть значительные силы и моменты, механизм манипулятора будет подтягиваться и выворачиваться сжимающимся схватом (рис. 7.21). Может получиться даже так, что усилия, развиваемого двигателем схвата, окажется недостаточно для того, чтобы свести рабочие элементы и полностью захватить объект. Если требуется значительно уменьшить силы и моменты, возникающие при захватывании, а погрешности базирования объекта относительно основания схвата не очень существенны, то нужно механизм схвата построить так, чтобы при захватывании элементы схвата свободно перемещались, приспосабливаясь к смещенному положению объекта. При этом можно изменить схемы схватов, вводя «лишние» шарниры. Так, схему клешневого схвата (см. рис. 7.15, е) можно изменить так, как показано на рис. 7.22. Здесь введены дополнительные шарниры. Пружинки удерживают элементы схвата в средних положениях, когда объект не находится в схвате. Таким образом иногда требуется не жесткое, а упругое крепление рабочих элементов к звеньям механизмов схвата.

В рабочих элементах важную функцию выполняют накладки (вклады, вставки), которые изготавливаются из резины, пластика или композитных материалов. Они могут выполнять различные функции. Накладки с увеличенным коэффициентом трения о материал объекта увеличивают несущую способность схвата по тем координатам, по которым базирование не осуществляется. Накладки с пониженным коэффициентом трения облегчают самоустановление объекта в схвате при захватывании. Мягкие упругие накладки смягчают удары при быстром схождении рабочих элементов в процессе захватывания и выравнивают распределение напряжений в зонах контакта, что особенно важно при захватывании хрупких объектов (например, стеклянных). Накладки из теплоизолирующих материалов используются при захватывании горячих заготовок, если важно предотвратить перегрев элементов схвата.

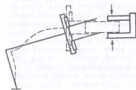


Рис. 7.21

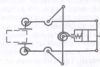


Рис. 7.22

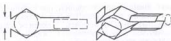


Рис. 7.23

Выбор типа схвата значительно усложняется, когда захватываемые объекты имеют размеры, изменяющиеся в широких пределах, и различную форму поверхностей, за которые производится захватывание. Если определенных требований к базированию объекта не предъявляется, то, возможно, окажется приемлемым широкодиапазонный схват с несогласованной формой рабочих элементов (например, плоскопараллельный). Если же необходимо базирование по возможно большему числу координат объектов различной формы, то иногда достаточно совмещения в одних и тех же рабочих элементах разных поверхностей для захватывания. Примеры, в которых рабочие элементы по участкам являются согласованными или полусогласованными, для объектов различных форм или различных положений приведены на рис. 7.23. Очевидный недостаток таких схватов — увеличенные габаритные размеры. Другой прием, позволяющий приспособляться к изменению формы, заключается в создании рабочих элементов изменяемой геометрии. Так, рабочие элементы могут быть составными, с возможностью перестановки элементов и закрепления их в различных положениях.

В тех случаях, когда одного схвата заведомо недостаточно, необходимо предусматривать сменность схватов в целом или их составных частей. Способы реализации сменности следующие.

1. Захватные устройства заменяются целиком. Сменные схваты находятся в магазине, способы соединения и конструкции соединительных узлов унифицированы. При этом сменными могут быть захватные устройства, основанные на различных принципах действия (например, механические и электромагнитные).

2. На руке робота в револьверной головке (барабане) закреплено несколько захватных устройств, работает только то из них, которое находится на рабочей позиции. При повороте барабана рабочую позицию занимает другой схват. Замена осуществляется автоматически, по командам. Подобный способ автоматической замены схватов полностью аналогичен способу замены инструментов многооперационных станков. Недостатками являются громоздкость и большие массы конструкций. Может оказаться, проще иметь несколько рук с одним схватом на каждой из них.

3. Сменными являются не схваты в целом, а лишь их основные части. Так, сменными могут быть только механизмы (при не сменных двигателях), или части механизмов (например, последние рычаги), или только рабочие элементы.

Наибольшее распространение получила замена схватов целиком. Многие вспомогательные роботы, выпускаемые ведущими зарубежными фирмами, снабжены сменными схватами. Имеются предложения по формированию комплексов не схватов в целом, а их модулей — составных частей, которые можно было бы собирать в различных сочетаниях и получать большое число модификаций схватов. Основные принципы, преимущества и приемы соответствуют общим принципам агрегатно-модульного построения, кратко описанного в гл. 5.

§ 7.6. ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ КОМПОНОВКИ СХВАТОВ

При переходе от схем схватов к конструкциям прежде всего встает вопрос об объемной компоновке, об общей конфигурации и взаимном расположении объемов, занимаемых основными составными частями схватов. На рис. 7.24, а — ж приведены схемы с основными вариантами компоновки: 1 — узел крепления схвата к руке робота; 2 — двигатель; 3 — механизм передачи вместе с необходимой несущей конструкцией; 4 — рабочие элементы. Для простоты изображения проекций всех объемов на продольную плоскость условно представляются в виде прямоугольников. Место крепления схвата к руке везде изображается слева.

Самым распространенным является вариант (рис. 7.24, а), в котором узел крепления, двигатель (обычно пневмоцилиндр), механизм с рабочими элементами располагаются последовательно, друг за другом. При этом корпус двигателя является несущим, несущая конструкция обычно продолжается в зону механизма. На рис. 7.24, б двигатель встроен в руку робота, при замене схвата он может оставаться на месте или также быть сменным. Подобная компоновка позволяет сократить длину схвата от узла соединения до рабочих элементов и вследствие этого повысить жесткость и прочность, что особенно важно для роботов средней и большой грузоподъемности.

В схеме на рис. 7.24, в двигатель встроен в механизм схвата. Это позволяет использовать полную длину схвата на самые длинные звенья механизма (например, основные рычаги клещевого схвата, на которые крепятся рабочие элементы). Это дает возмож-

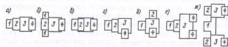


Рис. 7.24

ность при заданных габаритных размерах получать максимальный ход рабочих элементов. Элементы несущей конструкции обычно составляют одно целое с узлом крепления к руке. При этом корпус двигателя может быть или не быть несущим. В схеме на рис. 7.24, а корпус двигателя является несущим, но сам механизм ориентирован по поперечной вертикальной оси. В схеме на рис. 7.24, б двигатель вынесен наверх. Такая компоновка, обычно используемая для схватов с электроприводом, позволяет улучшить условия охлаждения и упростить замену при сокращении габаритных размеров по горизонтальной оси; но при этом увеличиваются размеры по вертикальной оси. Для схватов, предназначенных для захватывания длинномерных объектов, необходимо увеличить размеры механизма по длине объекта. Для схемы на рис. 7.24, в характерно разнесение только рабочих элементов, механизм приводится в движение только одним двигателем. В схеме на рис. 7.24, ж используются два двигателя, каждый из них имеет свои рабочие элементы.

Отметим некоторые особенности конструкций схватов. Как отмечалось выше, чаще всего двигателем является пневмоцилиндр. В одних случаях цилиндры являются самостоятельными, а в других — вытачиваются в корпусах. Чаще всего поршни перемещаются от одного постоянного упора до другого, однако иногда предусматриваются специальные регулируемые упоры. Чаще используются пневмоцилиндры одностороннего действия, но пневмоцилиндры двустороннего действия предоставляют дополнительные возможности (например, захватывания деталей снаружи и изнутри). Несущая конструкция может представлять собой одну деталь, но может собираться из нескольких частей на резьбовых соединениях. Для звеньев механизма обычно выполняются простейшие подшипники скольжения, подшипники качения используются только в редукторах высокооборотных двигателей. Конструкции и способ изготовления рычагов механизмов различны. Для схватов малой грузоподъемности, выпускаемых серийно, рычаги часто изготавливают вырубкой и гибкой из листового материала, при низкой серийности рычаги обычно получают фрезерованием. Для роботов средней и большой грузоподъемности рычаги обычно изготавливают из специальных сплавов. Наибольшую сложность в изготовлении представляют зубчатые передачи (если они входят в состав схвата). Рабочие элементы обычно представляют собой самостоятельные сменные детали (из металла или пластического материала), но иногда они образуются специально профилированными концевыми частями основных рычагов.

Схваты роботов при их эксплуатации представляют повышенную опасность. Наиболее эффективными являются следующие меры безопасности: ограничение усилий захватывания на требуемом уровне; защита механизма или его большей части специальными кожухами без острых углов и кромок; специальная окраска.

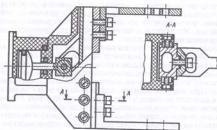


Рис. 7.25

На рис. 7.25 в качестве примера представлена конструктивная схема плоскопараллельного схвата промышленного робота «Рита» грузоподъемностью 5 кг. Схват предназначен для захватывания деталей и заготовок за параллельные плоскости, расстояние между которыми может изменяться от 0 до 80 мм. Усилие захватывания постоянно и составляет примерно 300 Н. Схват работает следующим образом. Перемещающийся штоком пневмоцилиндра палец, входящий в прорези кулис, задает поперечное движение ползунам, к которым крепятся рабочие элементы. Ползуны перемещаются прямолинейно по направляющим.

Основной особенностью конструкции является то, что корпус вместе с цилиндром выполнен из пластмассы (полиакрила). Это значительно уменьшает массу схвата, а при крупносерийном изготовлении методом прессования существенно снижает стоимость изготовления. Правильный выбор пластмассы позволяет получать высокую точность и гладкость поверхности без механической обработки и достаточную прочность. Но в наиболее ответственных местах использованы накладные бронзовые направляющие, которые закрепляются винтами.

Пневмодвигатель — двустороннего действия, поэтому возвратная пружина отсутствует. На рычагах могут закрепляться рабочие элементы.

§ 7.7. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХВАТОВ

При проектировании схватов перед конструктором зачастую встают совершенно нетрадиционные задачи, для решения которых иногда достаточно использовать обычные приемы, схемные и

конструктивные варианты широко применяемых устройств, но чаще приходится привлекать опыт отраслей, далеких от роботостроения, а в некоторых случаях — изобретать новые способы и устройства. Не претендуя на широкий охват, приведем некоторые примеры подобных задач.

1. *Задача одновременного захватывания нескольких жестких или упругих объектов.* Объектами могут быть заготовки, коробки, кирпичи, банки, бутылки. Когда станики одновременно обрабатывают по несколько заготовок, для сокращения простоя все заготовки желательно устанавливать на позицию обработки также одновременно. При загрузке тары желательно, чтобы объекты накатывались отдельно от тары, а потом переносились в тару все вместе. При этом также будет достигаться выигрыш по времени по сравнению с переносом каждого объекта отдельно. Сложность задачи захватывания совокупности объектов в основном определяется их формой и взаимным расположением. Если объекты прямоугольные и образуют компактную пачку, то при небольшой толщине ее можно захватывать как один объект с помощью плоскопараллельного схвата (рис. 7.26, а). Если пачка толстая, то при захватывании ее поперек (рис. 7.26, б) некоторые из объектов могут выскользнуть (из-за того, что они несколько различаются по размерам), поэтому один из рабочих элементов необходимо сделать секционированным, чтобы каждая из пластин была соединена с общей рамой отдельной пружиной (рис. 7.26, в). Пружины выравнивают усилия, действующие на отдельные объекты. Когда захватываемые объекты располагаются раздельно и не образуют одной пачки, необходим сложный многообъектный схват, представляющий собой, по существу, объединение нескольких простых схватов. При этом могут быть или несколько двигателей, каждый со своим механизмом, или один двигатель с разветвленным механизмом.

2. *Задача захватывания нежестких объектов (пластичных и легко изменяющих свою форму, таких как мешки, пакеты).* Можно использовать обычные схваты; при этом следует учитывать широкие пределы изменений размеров, большую неуравновешенность

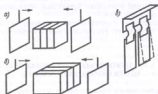


Рис. 7.26

положения и требование отсутствия у рабочих элементов острых углов и кромок (чтобы не повредить покрытие). Однако нередко сам способ захватывания путем зажимания оказывается неприемлемым, объект просто не может выдержать такое усилие, которое гарантировало бы его удержание в схвате. Тогда приходится переходить к другому способу удерживания: рабочие элементы сходятся до упора, образуя полость, в которой целиком должен помещаться объект (с достаточным запасом). Большие трудности представляет обеспечение такого захватывания, при котором было бы исключено защемление или повреждение объекта.

3. *Задача захватывания порций сыпучих материалов.* При построении соответствующих захватных устройств используется опыт конструирования крановых грузозахватных устройств типа грейферов.

4. *Задача захватывания порций жидкостей.* Такие задачи встали в робототехнике давно, одно из обычных применений роботов относится к обслуживанию литейных машин, предназначенных для точного литья под давлением. Рабочим органом робота является ковш с донным отверстием, перекрываемым автоматическим управляемым клапаном. Набор расплавленного металла из раздаточной печи осуществляется подключением вакуума к верхней полости закрытого ковша, слив металла — подключением давления. Аналогичные рабочие органы для набора, удерживания и слива жидкости используются в роботах, предназначенных для работы в автоматических лабораториях.

5. *Задача измерения параметров объектов во время их нахождения в схвате при переносе.* В этих случаях помимо удерживания на схват возлагается дополнительная функция измерения или контроля. Наиболее распространенной является задача контроля размера сечения, за которое производится захватывание, с последующей сортировкой объектов. Робот-сортировщик работает так: после захватывания детали в схвате измеряется ее размер, результаты измерения сообщаются устройству управления, которое дает команду установить или сбросить деталь в определенную тару в зависимости от того, в какой поддиапазон попадает измеренное значение размера. Измерение размера может осуществляться как с помощью самого схвата, по схождению его рабочих элементов или по углу поворота рычагов механизма (рис. 7.27, а), так и полностью самостоятельным измерительным устройством, установленным на схвате (рис. 7.27, б). Измеряться могут не только геометрические параметры, но и другие величины (например, температура, электропроводность). Проведение измерений во

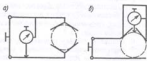


Рис. 7.27

время переноса позволяет получать выигрыш во времени и исключать стационарные устройства для измерения.

Последняя задача решается с помощью специализированного многофункционального схвата. Разработаны и нашли практическое применение многофункциональные схваты, выполняющие также другие функции во время переноса: обжим деталей, нагревание (с помощью индуктора, установленного на схвате) и т. п. В смысле совмещения функций наиболее широкие возможности предоставляют электромагнитные захватные устройства, в которых все функции реализуются электрическими устройствами.

ГЛАВА 8

УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

Вопросы управления промышленными роботами занимают особое положение. В области управления работает большинство научных работников — специалистов по робототехнике, разработкой устройств по управлению независимо от роботов занимается целый ряд организаций. Часто возможности промышленных роботов оцениваются исключительно по характеристикам устройств управления. При изучении систем управления роботов выделяются следующие основные вопросы.

1. *Формулировка требований к выполнению движений исходя из технологических задач.* Рассматриваются только перемещения рабочего органа независимо от механизма, который это осуществляет.

2. *Описание принципов действия систем управления.* Выясняется, какую информацию нужно получать из различных источников, что необходимо запоминать, как формировать команды и т. д. Здесь же устанавливается смысл основных терминов.

3. *Построение и описание структур систем управления.* Система управления представляется в виде соединения блоков, каждый из которых выполняет свои функции, причем содержание блоков не раскрывается.

4. *Описание состава блоков, элементной базы.*

5. *Обоснование состава технических характеристик, раскрытие их смысла, сравнение роботов по техническим характеристикам систем управления.*

6. *Описание систем управления, выпускаемых промышленностью.*

7. *Описание способов работы с устройствами управления, в частности способов программирования движений.*

Для различных специалистов наибольший интерес представляют различные группы вопросов. Так, проектировщики самих ус-

тройств управления должны хорошо знать принципы, структуры, элементную базу и дополнительно уметь рассчитать основные параметры устройств. Специалисты по эксплуатации должны знать системы, выпускаемые промышленностью, знать, как работать с устройствами управления, а также владеть навыками обслуживания. Технологи в первую очередь должны уметь программировать движения. В дальнейшем основное внимание обращается на формулирование задач управления, основные принципы и технические характеристики с анализом возможностей управления. Остальные вопросы освещаются бегло.

§ 8.1. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ И ТРЕБОВАНИЯ К УПРАВЛЕНИЮ

Начнем с задач управления, вытекающих из необходимости выполнения определенных операций в технологическом процессе. Рассмотрим работу простейшего робота-перекладчика, который должен перенести объект от исходной точки *A* до конечной точки *B* (рис. 8.1). Как правило, движения по степеням подвижности манипулятора выполняются поочередно, последовательно во времени, каждое следующее выполняется после окончания предыдущего. На рисунке схематично показана последовательность движений для манипулятора, работающего в цилиндрической системе координат. Эта последовательность такова: захватывание объекта, подъем, сгибание руки, поворот против часовой стрелки, вытягивание руки, опускание, раскрытие схвата с освобождением объекта. Далее в обратном порядке идет последовательность движений, приводящая к положению перед захватыванием в точке *A*. Полная последовательность движений, приводящая к исходной точке, называется *циклом*. Если очередной объект подается на ту же позицию (в точку *A*) и его нужно перенести в ту же точку *B*, то при автоматической работе циклы повторяются. Части цикла называются его *этапами*. При поочередном выполнении движений на каждом этапе работает только один привод и изменяется только одна координата. Однако для сокращения времени цикла может оказаться целесообразным на некоторых этапах одновременно выполнять движение по двум или нескольким координатам, т. е. совмещать движения во времени.

Специфика рассматриваемой простейшей задачи заключается в том, что необходимо точно за-

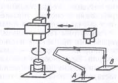


Рис. 8.1

давать положение рабочего органа (схвата) лишь в начальной и конечной точках. При этом для каждой координаты должна быть предусмотрена точная остановка только в двух точках (для механизма поворота) или в трех точках (для механизмов подъема и выдвижения руки). В простейшем случае при использовании пневмопривода фиксирование положений осуществляется упорами, в которые упираются подвижные части при остановке. При необходимости задавать различные положения точек упоры должны быть переставляемыми. В этих случаях управление сводится к заданию последовательности команд. Каждая команда указывает, какой из приводов и в какую сторону должен задавать перемещение. При этом каждая последующая команда может быть дана или по сигналу выполнения предыдущей, или после заданной выдержки по времени, или по разрешающему сигналу от другого оборудования.

Несколько усложним задачу. Предположим, что робот-перекладчик должен перенести объекты из одной точки A не в одну, а в разные точки, например раскладывая детали в разные гнезда тары. Последовательность движений переноса остается в целом такой же, однако при каждом переносе требуется приходиться в другую точку. Поэтому полный цикл является сложным, состоящим из последовательности простых циклов (или подциклов). Полный цикл начинается, когда все гнезда тары не заполнены, а заканчиваются, когда заполнено последнее гнездо. При поочередном выполнении движений по степеням подвижности их последовательность повторяется многократно, как и в предыдущем случае при повторении циклов в автоматическом режиме. Однако специфика заключается в том, что необходимо иметь возможность фиксирования (по крайней мере по некоторым степеням подвижности) по многим положениям (их число обычно составляет десятки). При этом, естественно, исключается позиционирование по упорам; запоминание положения точек и обеспечение остановки в этих точках становится функцией устройства управления. Заметим, что можно избавиться от необходимости выходить в разные точки, установив для тары сдвижной стол, подводящий очередное гнездо тары после каждого простого цикла к одной и той же точке. Но при этом, конечно, усложняется конструкция. Известны и другие ситуации, когда усложнением конструкции можно упростить требования к системе управления или наоборот, упростить механику за счет усложнения управления.

Рассмотрим теперь задачи, которые ставятся перед системой управления при автоматической резке по заданному контуру. Рабочий орган — горелка — должен перемещаться по заданной траектории. Если резается плоский лист, то угловая ориентация оси горелки должна быть неизменной (перпендикулярной к плоскости листа), если поверхность неплоская (например, труба), то при перемещении по заданной траектории горелку необходимо поворачивать. Особенностью задачи является то, что, как правило,

для перемещения рабочего органа по заданной траектории необходимо, чтобы два или несколько приводов работали одновременно и согласованно. Так, для движения рабочего органа по прямой у манипулятора, работающего в плоской полярной системе координат (рис. 8.2), должны одновременно и согласованно работать механизмы поворота и выдвижения руки. Поэтому исключается простой в реализации режим последовательного во времени выполнения движений. Другой особенностью является то, что рабочий орган необходимо перемещать с определенной скоростью, рассчитываемой при проектировании технологического процесса (по графикам или таблицам) или подбираемой экспериментально. Считается, что отклонения скорости от задаваемой не должны превышать 10 %. Третья особенность заключается в том, что траектория задается по чертежу, чаще всего она представляет собой прямую, окружность или образуется сопряжением прямых или круговых участков. Траектория задается заранее и может быть представлена определенными точными математическими выражениями (уравнениями прямых и окружностей).



Рис. 8.2

В этом состоит сходство с программами для станков с ЧПУ, в которых контур, по которому нужно перемещать инструмент, также образуется сопряжением прямолинейных и круговых участков. Заметим, что помимо рабочих движений, во время которых выполняется резка, необходимо выполнять холостые ходы при выходе в исходную точку (при начале работы) и возвращении — после окончания.

Для роботов, предназначенных для выполнения шовной сварки, задачи управления в целом формулируются аналогичным образом, однако могут и существенно усложняться.

Как и в предыдущем примере, траектория перемещения рабочего органа задается, необходимо выдерживать требуемую скорость, в сложных условиях наряду с перемещением рабочего органа — горелки — требуется переориентирование. Одновременно с медленными рабочими движениями по траектории следует совершать быстрые движения переноса. Однако во многих случаях, особенно при электродуговой сварке, необходимо выполнять и ряд других требований. Во-первых, программа зачастую не может обеспечить достаточно точного движения конца электрода по оси свариваемого стыка как из-за погрешностей выполнения движений, так и вследствие отклонений формы краев свариваемых листов. Поэтому задаваемые программные движения следует корректировать. Для этого в рабочем органе должны быть предусмотрены специальные чувствительные элементы — датчики, которые бы определяли отклонения электрода от оси стыка; по сигналам этих датчиков, вводимых в устройство управления, задаются малые

смещения в нужную сторону, чтобы эти смещения уменьшить. Во-вторых, необходимо поддерживать постоянной длину дуги, так как при ее значительных изменениях ухудшается качество шва или дуга может погаснуть. Расстояние от конца электрода до шва может измеряться только косвенными методами, можно контролировать сварочный ток. Сигналы соответствующих датчиков подаются в устройство управления, по ним электрод приближается к шву или удаляется от него, так что режим сварки стабилизируется независимо от сгорания электрода. В-третьих, необходимо обеспечить правильное начало процесса сварки: сначала нужно зажечь дугу, дать выдержку и лишь затем выходить на установившийся режим. Таким образом, для начала процесса имеется специальная программа. Иногда необходимо еще большее усложнение управления. Так, если сваривание осуществляется встык, а зазор является существенно переменным, то скорость движения рабочего органа необходимо изменять, уменьшая ее при увеличении зазора. Для измерения зазора в стыке необходимо использовать специальные датчики (оптические или пневматические); по их сигналам устройство управления требуемым образом изменяет скорость перемещения. Кроме этого, отметим, что при сваривании толстых листов электрод должен совершать колебательные движения с малой амплитудой поперек шва (иначе материал не проваривается требуемым образом). В этих случаях необходимо усложнить программу движения, предусматривая наложение малых колебаний с регулируемой амплитудой.

Требования к управлению технологическими промышленными роботами, рабочий орган которых находится в силовом взаимодействии с неподвижным объектом, имеют ряд особенностей. Типичной является задача шлифования (рис. 8.3). Манипулятор должен задавать сканирующие перемещения шлифовального круга, чтобы он отработал всю поверхность. Именно такая программа должна быть в устройстве управления. Однако следует учитывать то, что роботы обычно используются для шлифования поверхностей, полученных с большими погрешностями, и задача шлифования заключается не в получении высокой точности формы и положения поверхности одновременно со снятием шероховатости (как у шлифовальных станков), а только в снижении шероховатости или снятии облоя, остатков литниковой системы и т. д. При отработке поверхности вручную рабочий прижимает вращающийся шлифовальный круг к поверхности и плавная волнистость ее не мешает обработке. Если же робот будет точно выполнять программу перемещений, то вследствие погрешностей положения и формы поверхности шлифовальный круг будет отрываться от поверхности, или глубоко врезаться в нее. Чтобы избежать этого, необходимо контролировать усилие прижатия или разделять его составляющие. Для измерения сил по составляющим используют специальные датчики, так называемые датчики силомо-



Рис. 8.3



Рис. 8.4

ментного очувствления, которые обычно встраиваются в конструкцию манипулятора между рукой и рабочим органом. Косвенно касательная составляющая усилия может контролироваться по силе тока двигателя, вращающего шлифовальный круг. По сигналам этих датчиков, вводимых в устройство управления, должна осуществляться коррекция движения: при увеличении силы необходимо отходить от поверхности или уменьшать скорость перемещения (скорость подачи), а при уменьшении силы — смешаться в сторону поверхности. Возможно, что целесообразно делать и то и другое.

Датчики силомоментного очувствления иногда целесообразно использовать и в системах управления роботами, осуществляющими автоматическую сборку. Предположим, что робот собирает пару «вал—штулка». Штулка закреплена неподвижно, а вал находится в захвате робота. Точности робота не хватает, чтобы попасть валом в отверстие штулки, и контакт получается на фаске (рис. 8.4). В точке контакта возникает сила реакции. При контакте слева горизонтальная составляющая этой силы направлена вправо (как показано на рисунке), в противном случае она будет направлена влево. Таким образом, по направлению горизонтальной составляющей силы можно определить, в какую сторону нужно переместить схват с валом, чтобы попасть в отверстие. Сигналы датчика силомоментного очувствления подаются в устройство управления, которое задает малое перемещение, накладывающееся на основное сборочное движение (по оси собираемой пары). В системе управления также используются специальные датчики, определяющие положение одной детали по отношению к другой.

В большинстве предыдущих задач требуемые движения определяются заданием, их можно рассчитать по чертежу детали или изделия. Однако имеются другие задачи, когда робот должен копировать движения, которые совершает рабочий при выполнении тех же операций вручную. Так, при окраске краскораспылителем, особенно изделий сложной формы, целесообразно опираться на опыт квалифицированных рабочих, а не пытаться рассчитывать требуемые траектории движения рабочего органа. При этом программирование осуществляется так называемым методом обу-

чения. Во время обучения отключаются приводы робота: рабочий (оператор) вручную перемещает краскораспылитель, связанный с рукой робота и окрашивает изделие так, как считает правильным. Все его движения запоминаются в управляющем устройстве робота; при окраске других аналогичных изделий робот воспроизводит все эти движения необходимое число раз. Особенность этих движений заключается в том, что участки траекторий не являются ни прямыми, ни окружностями, и, кроме того, движения обычно являются существенно неравномерными (с переменными скоростями). Поэтому, как правило, запоминаются последовательности точек траектории через одинаковые интервалы времени. При воспроизведении нужно проходить через эти точки в заданные минуты времени, при этом движения должны быть плавными, без рывков и ударов. Заметим, что обучение используется также для более простых задач, когда необходимо просто выводить рабочий орган в точку, положение которой заранее неизвестно, но может быть подобрано экспериментально (например, так, чтобы заготовка в схвате вошла в патрон станка на заданную глубину). Тогда при обучении рабочий (оператор) подводит вручную рабочий орган к заданному положению, которое запоминается и при самостоятельном выполнении движений повторяется в каждом цикле.

Иногда к перечисленным добавляются и другие задачи, например, автоматического выбора программ из нескольких возможных (по результатам измерения), автоматической коррекции программ и пр. Эти более сложные задачи в дальнейшем не рассматриваются.

§ 8.2. ОБЩАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Все основные устройства промышленного робота образуют *систему управления*. Объектом управления является *исполнительное устройство* (манипулятор плюс устройство передвижения, если оно есть). В исполнительное устройство также входит *привод*. Все остальное оборудование робота, предназначенное для формирования и выдачи управляющих воздействий исполнительному устройству в соответствии с управляющей программой, объединяется в *устройство управления* (управляющее устройство). Таким образом, устройство управления получает сигналы (от датчиков) и выдает сигналы (на приводы манипулятора). Иногда совокупность датчиков и других источников информации выделяют в самостоятельное *измерительное устройство*.

Взаимодействие основных составных частей исполнительного устройства, устройства управления и измерительного устройства показано на структурной схеме (рис. 8.5). Начнем ее описание с левого столбца снизу. *Рабочий орган* перемещается *приводами манипулятора*. Непосредственное управление приводами осуществ-

ляет *управляющая автоматика*. Выше располагается *устройство управления*, в котором может быть несколько уровней. В правом столбце показаны группы датчиков. Датчики группы *Д1* располагаются на рабочем органе (в частности, на захватном устройстве) или вне робота. Это могут быть датчики наличия объекта (они выдают сигнал, когда объект находится в схвате), положения объекта относительно схвата, состояния рабочего органа и пр. Датчики группы *Д3* находятся на выходных или промежу-

точных звеньях приводов. Это датчики положения (или угла поворота) и датчики скорости. Эти датчики обеспечивают нормальную работу приводов, их точность и требуемое качество. Датчики группы *Д2* контролируют положение звеньев манипулятора и устройства перемещения; они могут быть самостоятельными, но могут объединяться с датчиками группы *Д3*. На структурной схеме отдельно изображен *путь ручного управления*.

Стрелками показаны основные связи составных частей — блоков. Стрелки в левом столбце показывают основное взаимодействие: устройство управления вырабатывает сигналы (обычно электрические) на блок управляющей автоматики, который усиливает эти сигналы и преобразует их в форму, приспособленную для двигателей приводов. Далее двигатели приводов приводят в движение звенья механизмов манипулятора, а затем и рабочий орган. В простейших системах программного управления датчики всех групп отсутствуют, положение подвижных частей не измеряется, а задается по упорам. Датчики также отсутствуют в системах с шаговым приводом. Если используется следующий привод, то датчики групп *Д2* или *Д3* представляют собой датчики обратных связей, о них более подробно говорится в § 8.3. Датчики группы *Д1*, представляющие собой датчики осязательства, обычно устанавливаются для повышения точности и надежности работы. В настоящее время они используются только в роботах определенного назначения (в технологических, предназначенных для сварки, резки и шлифования). Исключением являются датчики наличия объекта. Хотя серийные роботы ими не оснащаются, их иногда устанавливают по месту эксплуатации. Таким образом, датчики



Рис. 8.5

вообще или их разные группы не обязательно входят в состав системы управления. Часто датчиками не оборудованы простейшие роботы-переключники с пневмоприводом, работающие по упорам. Как правило, чем сложнее задачи, тем большее число датчиков должно использоваться в системе.

Для пульта ручного управления основными являются связи с устройством управления. С пульта ручного управления могут осуществляться ввод программ, настройка. На пульт управления поступают сигналы о выполнении различных движений, а также о возможных нарушениях режимов работы и об отказах. Следует иметь в виду, что в устройстве управления обычно поступают сигналы от внешних (по отношению к роботу) датчиков и систем (например, от систем управления обслуживаемым оборудованием). Устройство управления роботом также может быть связано с ЭВМ, координирующей работу нескольких единиц оборудования (например, всего оборудования технологического участка или линии). В этих случаях эта ЭВМ как бы находится на более высоком этапе, на следующем уровне управления. Такая многоуровневая система управления типична для современных гибких производственных систем.

Движения и действия во время работы промышленного робота задаются *управляющей программой*, которая вводится в устройство управления. Программа представляет собой совокупность команд, которые при работе должен выполнять робот. Если команды выполняются в одной и той же последовательности, то говорят о жесткой программе. Однако программа может предусматривать изменение последовательностей выполнения команд в зависимости от поступающих сигналов; такие программы в большей или меньшей степени обладают свойством гибкости. Для промышленных роботов обязательным является требование перепрограммируемости, поэтому должны быть предусмотрены средства ввода или набора программ. Программа может набираться вручную, но может вводиться в устройство управления специальными считывающими устройствами с различных программносителей: с перфоленты или с магнитной ленты. С точки зрения оператора, устройства управления различаются в первую очередь по способам составления и ввода управляющих программ. Составление, ввод и отладка управляющей программы называется *программированием* промышленного робота. При работе робот функционирует в соответствии с управляющей программой; это называется исполнением (отработкой) программы.

Как отмечалось в § 2.2, различают три основных вида управления промышленными роботами: цикловое, позиционное и контурное.

Цикловое управление является в реализации наиболее простым. При цикловом управлении программируется последовательность выполнения движений и условия начала и окончания движений.

Положения, до которых идет движение, задаются на самом манипуляторе (например, упорами), а не в программе; скорость перемещения определяется характеристиками привода и также не задается в программе. Однако в дополнение к последовательности движений программа может задавать требуемые выдержки времени (на выполнение команды или на промежутки времени между командами или движениями).

При позиционном управлении команды подаются так, что перемещение рабочего органа происходит от точки к точке, причем положения точек задаются программой. Скорость перемещения между точками не контролируется и не регулируется. В отличие от циклового управления число точек может быть большим.

При контурном управлении движение рабочего органа происходит по заданной траектории с задаваемой скоростью. В программе задаются сами траектории (или часто расставленными точками, или более редкими точками с соединяющими их прямыми, или дугами окружностей) и режимы движения. Контурное управление используется исключительно в технологических роботах (сварочных, окрасочных и пр.). Контурное управление идет от станков: при движении резца токарного станка по контуру (вследствие согласованной подачи по двум осям) получается поверхность лезвия заданной формы в виде тела вращения. Заметим, что на холостых ходах (при выходе в исходную точку, с которой начинается рабочее движение, при возвращении назад в исходную точку после выполнения рабочего движения) система управления работает как позиционная.

Устройство управления и другие блоки системы управления при цикловом, позиционном и контурном управлениях могут быть реализованы на одинаковых или разных принципах и элементных базах. Так, микроэлектронные устройства, в частности микро-ЭВМ, могут быть основой устройств управления любого вида. С другой стороны, привод в системе контурного управления может быть шаговым и следящим. На принципах хорошо разработанного числового программного управления (ЧПУ) могут работать системы и позиционного и контурного управления.

В особый вид выделяется адаптивное управление, при котором осуществляется автоматическое изменение управляющих программ в зависимости от измеряемых или контролируемых условий работы, или, как говорят, в функции от контролируемых параметров состояния внешней среды. В частности, адаптация, или приспособляемость, системы управления может заключаться в том, что устройства системы управления с помощью специальных датчиков определяют конфигурацию объекта и его положение; возможны также отклонения размеров от номинальных. В зависимости от результатов измерения схват смещается или поворачивается (чтобы удобнее было захватывать объект), после захватывания

опознанного объекта он переносится на место, предназначенное именно ему (это необходимо при сортировке или разбраковке). Таким образом, адаптивное управление обычно связывается с опустошением.

Кратко рассмотрим особенности видов систем управления в порядке их усложнения.

§ 8.3. ЦИКЛОВОЕ ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Как отмечалось выше, при цикловом программном управлении в устройстве управления программа задает только последовательность команд, определяющих движения, а крайние положения, до которых происходит перемещения, задаются на самом манипуляторе. Типовое устройство управления состоит из двух основных блоков: запоминания программ и поэтапного ввода программ. В блоке запоминания программ в той или иной форме хранится вся последовательность команд цикла и, если нужно, условия выполнения команд. Переход с этапа на этап задает блок поэтапного ввода программ. Существуют два основных принципа ввода программ: кинематический и статический. При кинематическом вводе программ переход от этапа к этапу происходит за счет перемещения программноносителя, при статическом вводе программноноситель неподвижен, а переход от этапа к этапу осуществляется за счет переключений электрических цепей.

Наиболее старыми устройствами циклового программного управления являются устройства с распределительным валом и с кулачками на нем. Распределительный вал с кулачками вращается (рис. 8.6), при этом перемещаются толкатели. Толкатели, в свою очередь, воздействуют на электрические переключатели, или пневмоклапаны, которые сначала включают, а затем выключают двигатели приводов. Таким образом, программноносителем является совокупность кулачков. Распределительный вал может вращаться равномерно или прерывисто (от храпового механизма или от шагового двигателя), соответствующий привод представляет собой устройство поэтапного ввода программы. Профили кулачков выбираются достаточно простыми: круг с коротким вырезом, с длинным вырезом, с несколькими вырезами (рис. 8.7, а—е соответственно). При этом толкатель может занимать только два положения, что достаточно для включения и выключения. Обычно каждый кулачок включает один привод, иногда к одному приводу относятся несколько кулачков с толкателями и переключателями. Чтобы установить



Рис. 8.6

требуемую последовательность команд и интервалы времени между ними, кулачки разворачивают на требуемые углы вокруг оси и закрепляют. Заметим, что системы с распределительным валом широко используются в тех случаях, когда толкатель выполняют силовые функции, т. е. не включают переключатели, а перемещают рабочие органы; имеются также специальные манипуляторы с подобными кулачковыми приводами. При этом профили кулачков выбираются более сложными, чтобы получать требуемые законы перемещений. В подобных системах кулачковый вал с толкателями представляет собой не устройство управления, а часть механизма манипулятора.



Рис. 8.7

Устройства управления с распределительным валом просты и надежны, но замена программы требует перестановки кулачков, что достаточно сложно. Кроме того, устройство управления громоздко и имеет ограниченные возможности по числу команд (паре команд на один привод соответствует один кулачок) и по числу этапов в цикле (циклу соответствует один оборот вала). Поэтому для перепрограммируемых систем подобные устройства практически непригодны.

Близкие идеи заложены в конструкции устройств управления в виде программаторов с кулачковыми барабанами (они называются также командоаппаратами). Вместо кулачков на распределительный вал насажен цилиндрический барабан с прямоугольной сеткой радиальных отверстий. В любое отверстие можно вставить штекер со специально профилированной гладкой головкой, которая представляет собой кулачок, выступающий над гладкой поверхностью барабана. Параллельно оси над барабаном жестко крепится линейка с переключателями, на таком расстоянии, чтобы приходившиеся против них кулачки (головки штекеров) нажимали на штыри переключателей. Развернутую перфорированную поверхность барабана можно представить состоящей из дорожек (каждая из них приходится против своего переключателя) и строк (параллельных оси барабана). Последовательные строки соответствуют последовательным этапам цикла: в какие отверстия будут вставлены штекеры, такие команды будут выполняться на данном этапе. В той же строке штекерами также набираются условия, при которых могут выполняться команды. Повороты вала осуществляются прерывисто, привод шаговой или храповой. Программаторы с кулачковыми барабанами до сих пор широко используются в различном оборудовании. Они надежны, имеют значительно меньшие массы и габаритные размеры, чем устройства с распределительным валом. Типовые командоаппараты имеют габаритные раз-

меры около 400 мм, общее число команд и условий их выполнения — около 40, число этапов цикла — около 50.

Основными достоинствами программаторов с кулачковыми барабанами являются относительная простота перепрограммирования, простота контроля набора. Перепрограммирование осуществляется перестановкой штекеров в соответствии с заданной таблицей.

Рассмотрим устройства циклового программного управления со статическим вводом программ. Исторически первыми являются программаторы со штекерной панелью, они применяются и в настоящее время. Штекерная панель является программоносителем. На поверхности панели имеется прямоугольная сетка отверстий, строки соответствуют командам, столбцы — номерам этапов. Программирование осуществляется штекерами, которые вставляются в отверстия так же, как при использовании программаторов с барабанами: для выбранного столбца (номера этапа) штекер вставляется в отверстие в строке, соответствующей требуемой команде. Допускается выполнение на каждом этапе нескольких команд (совмещение движений). Роль штекеров сводится к тому, что в гнездах они создают электрическое соединение цепей. Возможности штекерных панелей примерно те же, что и программаторов с барабанами (несколько десятков этапов в цикле). Важным достоинством штекерной панели является максимальная наглядность набора: полностью видна вся программа. Однако штекерные панели громоздки; механический контакт, создаваемый штекерами, нередко недостаточно надежен.

Сокращение размеров панелей достигается при замене столбцов отверстий многопозиционными переключателями (линейными или поворотными). Для каждого этапа команда выбирается поворотом переключателя. Иногда используется кодированный набор (с помощью кнопок). Программирование на штекерных панелях может осуществляться по совсем другим принципам. Так, последовательность команд может задаваться не по этапам (послед выполнения одного движения сразу же начинается следующее), а по времени (весь цикл планируется по секундам, заранее устанавливается, в какой момент времени после начала цикла начинается определенный этап). Такая система программирования движений приспособлена для случаев, когда позиционирование подвижных частей осуществляется по упорам, тогда интервалы времени, выделяемые на этапы, выбираются так, чтобы они были заведомо достаточными для того, чтобы подвижные части могли выйти до своих упоров.

Другой принцип заключается в том, что программируется не определенная последовательность этапов, а лишь совокупность логических условий, при выполнении которых должна выработаться определенная команда. Поясним это на конкретном при-

мере простейшего робота-переключателя, который работает в соответствии со схемой, приведенной на рис. 8.1. Всего робот имеет три степени подвижности с приводами плюс четвертый привод (имеет схват). Предположим, что в каждом из двух крайних положений у каждого из приводов имеется датчик, который выдает сигнал, если выходное звено привода пришло в крайнее положение. Так, есть два датчика у механизма руки: первый датчик выдает сигнал, когда рука втянута, а второй — когда рука вытянута. Аналогично имеются два датчика у механизма подъема: один наверху, другой внизу и т. д. Возьмем любой этап, например этап поворота против часовой стрелки с захваченным объектом. Это движение поворота должно выполняться, когда от датчиков поступают сигналы, что рука втянута, механизм подъема в верхнем положении, схват сжат. Таким образом, команда поворота влево должна выдаваться при наличии одновременно трех сигналов вполне определенных датчиков. Аналогично любая другая команда должна выдаваться также при наличии трех сигналов датчиков (для каждой команды используется своя комбинация датчиков). Одновременное наличие нескольких сигналов регистрирует электрическая схема совпадения или логический элемент типа И. Подобные устройства управления называются логическими. Их элементная база может быть различной, в устройствах могут использоваться электрические контактные устройства и электронные коммутаторы, электромагнитные реле и интегральные микросхемы.

Большинство современных устройств циклового программного управления представляют собой программируемые контроллеры. Программа записывается на определенном машинном языке подобно тому, как это делается при программировании для ЭВМ. Однако для циклового управления языки выбирают очень простые. Обычно программа строится по кадрам, причем каждый кадр соответствует этапу. На обычном языке содержание кадра записывается следующим образом: номер кадра, проверка наличия сигналов во входных цепях с заданными номерами (сигналов датчиков), при наличии этих сигналов задается команда на выполнение движения с требуемым номером. Программа может быть введена в устройство управления с клавиатуры пульта. В устройстве управления программа запоминается в электронной (интегральной) памяти. При ручном вводе программы с пульта содержание кадра в виде алфавитно-цифровой записи воспроизводится на специальном индикаторном устройстве или дисплее. После того как вся программа введена, для контроля можно вывести на дисплей любой кадр по набранному номеру. При обнаружении ошибки ее легко исправить.

Преимущества программируемых контроллеров хорошо известны. Практически отсутствуют ограничения по числу команд и по числу этапов. Программы можно хранить на различных носите-

лях. Они могут быть сложными и предусматривать выбор между различными решениями, что необходимо при реализации адаптивных систем. Масса и габаритные размеры малы. Однако не всегда достаточно велика надежность устройств управления.

Способ программирования, при котором непосредственно задается последовательность движений, не является единственным. Когда в основу устройства управления кладется универсальная микроЭВМ, ее программирование осуществляется на универсальном языке, не связанном с представлением об управлении движением.

Как отмечалось, точки, в которых должны останавливаться подвижные части, задаются на самом оборудовании. При использовании пневмопривода позиционирование осуществляется по упорам, которые могут перекрещиваться в разных положениях. Чтобы исключить жесткие удары, вместе с упорами устанавливаются демпферы. Для других типов приводов при подходе к заданному конечному положению двигатель необходимо отключать при помощи пусковых выключателей. Обычно используются обычные электродоупорные микропереключатели. Микропереключатель устанавливается неподвижно, он срабатывает от кулачка, который может закрепляться на подвижной части в различных положениях. Если на разных этапах цикла требуется останавливать подвижную часть в различных положениях, устанавливают несколько кулачков при одном переключателе (при этом, однако, точки остановки не могут быть на малом расстоянии) или предусматривают несколько пар «переключатель—кулачок» (они устанавливаются по параллельным линиям). Для повышения точности остановки в конечном положении целесообразно перед остановкой переходить на уменьшенную — «ползучую» скорость. С этой целью усложняется способ остановки при том же кулачке (при срабатывании микропереключателя происходит переход на «ползучую» скорость, а при его отключении после прохождения кулачка — остановка) или устанавливается кулачок сложного профиля, который дает два включения перед остановкой. Повышение надежности может быть достигнуто при установке пусковых переключателей другого типа. В работах с цикловым управлением широко используются в качестве датчиков герметические магнитоуправляемые контакты (герконы). Герметические контакты в запаянной стеклянной колбе замыкаются при приближении на определенное расстояние магнита или электромагнита, закрепленного на подвижной части. Точность герконовых датчиков не очень велика, однако они выдерживают без отказов значительно большее число включений и выключений, чем обычные микропереключатели. Используются также индуктивные (трансформаторные) и генераторные датчики. Их высокая надежность определяется тем, что они являются бесконтактными.

§ 8.4. ПОЗИЦИОННОЕ И КОНТУРНОЕ ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Для позиционного и контурного управления общим является то, что для выполнения движений необходимо запоминать большое число точек для каждой степени подвижности. Нет никакой возможности задавать эти точки на манипуляторе, поэтому отличительной особенностью устройств управления в этих случаях является то, что программируется вся информация о движениях, которые необходимо совершать, а именно, последовательность движений, условия выполнения движений и значения перемещений или углов поворота. Для контурного управления программируется также скорость перемещения. Как отмечалось ранее, программирование может быть аналитическим, а может осуществляться методом обучения. Рассмотрим сначала аналитическое программирование.

В настоящее время подавляющее большинство систем позиционного и контурного управления представляют собой системы числового программного управления (ЧПУ). Для промышленных работ характерны системы ЧПУ трех типов: 1) HNC (с ручным заданием программ с пульта управления; они называются также оперативными системами управления); 2) DNC (имеющая память для хранения всей программы); 3) CNC (автономная система, построенная на микроЭВМ). Принципы и технические средства ЧПУ были разработаны применительно к станкам; распространение их на промышленные роботы позволяет унифицировать устройства управления для роботизированных технологических комплексов.

Рассмотрим устройства управления, вырабатывающие сигналы на приводы, не затрагивая пока вопросов исполнения программ. Исходной является алфавитно-цифровая запись управляющих программ. Программирование осуществляется по адресному принципу, по кадрам. Адрес (как правило, буквенный) указывает, к какому приводу (или к какой степени подвижности) относится команда. После адреса записывается число, которое показывает, на сколько или в какую точку должно произойти перемещение. Большинство систем ЧПУ допускает программирование как в абсолютных координатах (числа в программе задают координаты точки в базовой системе координат), так и в приращениях (числа показывают перемещения от исходного положения). Числа дают значения координат или перемещений в дискретах, обычно в микрометрах. Обозначения адресов (букв) указываются в специальных таблицах, но приняты меры, чтобы эти обозначения были привычными. Так, буква N означает номер кадра (после нее пишется значение номера — обычно трехзначное число), буквы X, Y и Z — команды перемещений по одноименным осям, знаки + и - сохраняют свой смысл («плюс» и «минус»). На основе этих сведений можно читать отдельные фрагменты программ.

Адресом F задается скорость перемещения (скорость подачи). Предусматриваются специальные режимы интерполяции. Так, если адресом задан режим линейной интерполяции, заданы координаты начальной и конечной точек, то рабочий орган будет двигаться между этими точками по прямой с постоянной скоростью, заданной адресом F . При этом приводы по степеням подвижности будут работать согласованно. Системы с ЧПУ допускают также круговую интерполяцию (по окружности). Возможность работы в режимах интерполяции — характерная особенность контурного управления. Система выбора адресов и составлении программ стандартизована, но для конкретных моделей оборудования имеются свои особенности.

Для упрощения программирования используются различные способы. В частности, для часто повторяющихся комбинаций движений составляются типовые подпрограммы, реализующие так называемые постоянные циклы. При наборе, просмотре и отладке может быть осуществлено оперативное редактирование (исправление) программ, а именно, вставка новых кадров, пропуск части кадров, введение в кадры дополнительных команд, изменение (коррекция) значений перемещений. Все современные системы ЧПУ имеют разветвленные системы контроля, при появлении отказов система автоматической диагностики выявляет, по каким причинам произошел этот отказ. Массы и габаритные размеры устройств ЧПУ пока еще велики, но они уменьшаются от поколения к поколению. Стоимость систем ЧПУ достаточно высокая, поэтому оборудованы ими чаще всего технологические роботы с контурным управлением.

Существенную специфику программирование имеет в тех случаях, когда оно осуществляется методом обучения. При этом аналитически программируются только подготовительные операции. Во время обучения (когда оператор перемещает рабочий орган вручную) автоматически вводятся в память устройства управления значения координат через равные интервалы времени (обычно через 0,1 с). Эти значения получаются из сигналов датчиков перемещений или углов поворота приводов манипулятора. Для окрасочных роботов запись и воспроизведения программы составляет обычно несколько десятков или сотен секунд. Если важна плавность движения (как при шовной сварке, резке и окраске), то при воспроизведении осуществляется интерполяция по точкам; в случае необходимости скорости движения по траектории может быть вручную с пульта увеличена или уменьшена в пределах $\pm 20\%$. Когда плавности движений не требуется и движение должно осуществляться с остановками (как при точечной сварке), интерполяция не производится и система работает как позиционная.

В системах ЧПУ используются два типа приводов: разомкнутые (обычно шаговые) и замкнутые (следящие). *Шаговый электромеханический привод* управляется последовательностью импуль-

сов, которые вырабатывает специальный коммутатор. В *следящих приводах* сигнал задаваемого перемещения или угла поворота сравнивается с сигналом датчика перемещения или угла поворота на выходном звене, по результату сравнения двигателя поворачивается так, чтобы эти два сигнала стали равными друг другу. Таким образом, перемещение выходного звена следит за выходным электрическим сигналом. Точность следящего привода в значительной мере зависит от точности датчика. В системах ЧПУ используются как специальные кодовые (цифровые) датчики, выдающие сигнал поворота в двоичном коде, и импульсные, выдающие число импульсов, пропорциональное углу поворота или перемещению, так и аналоговые (потенциометры и вращающиеся трансформаторы). Погрешности точных датчиков составляют 0,01 % от диапазона перемещений или углов поворота.

В течение ряда лет при проектировании устройств управления промышленных роботов наблюдались две противоположные тенденции. С одной стороны, создавались устройства управления для каждого робота, отличные от всех других. С другой стороны, выпускались унифицированные устройства управления, предназначенные не для одного определенного робота, а для целой группы роботов определенного класса. Доля унифицированных устройств управления из года в год растет, в настоящее время она составляет более половины. Преимущества унифицированных устройств управления в основном те же, что и модульных конструкций (см. гл. 5), поскольку устройство управления можно рассматривать как самостоятельный модуль промышленного робота.

ГЛАВА 9

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ В РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСАХ

Проблемы согласования роботов с другим оборудованием являются наиболее сложными, они отличаются большим разнообразием. И хотя в настоящее время вопросы внедрения роботов занимают гораздо больше специалистов, чем созданием роботов, для успешного решения задач внедрения необходимо активно использовать опыт, накопленный в промышленности. Вопросы внедрения роботов посвящено несколько книг [1, 12], в книгах [3, 8, 13] по робототехнике этим проблемам отведены отдельные главы. В предлагаемом учебнике вопросы внедрения рассматриваются кратко, только для того, чтобы пояснить, как требования оптимального выполнения определенных функций на производстве отражаются на устройстве промышленных роботов.

§ 9.1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТАМ

К роботам, используемым на конкретных рабочих местах, предъявляются самые разнообразные требования. Рассмотрим эти требования в порядке убывания значимости основных характеристик роботов.

1. *Функциональное назначение и тип робота.* Подавляющее большинство роботов не обладает высокой степенью универсальности, поэтому робот должен быть приспособлен к типу обслуживаемого оборудования, к числу единиц оборудования, к их расстановке и т. д. Так, при необходимости обслуживания станков, установленных в ряд, при возможности входа в рабочую зону сверху, подходит робот портального типа (см. рис. 2.1), при установке оборудования вокруг робота на одном расстоянии более всего подходит напольный робот, работающий в цилиндрической системе координат. Для технологических роботов основным является назначение (например, сварочные, окрасочные, роботы имеют свою специфику).

2. *Тип рабочего органа.* Этот показатель наиболее важен для технологических роботов, а также для вспомогательных (схват должен быть приспособлен к объектам и к условиям захватывания, как это было подробно рассказано в § 7.5).

3. *Грузоподъемность.* Как отмечалось в § 2.3, грузоподъемность считается одним из главных параметров. Она лежит в основе классификации промышленных роботов, как вспомогательных, так и технологических. Превышать номинальную грузоподъемность нельзя. Однако на практике нередко допускают большие запасы по грузоподъемности, что приводит к тому, что конструкция робота оказывается неоправданно громоздкой.

4. *Кинематическая схема.* Важными параметрами являются число степеней подвижности (межпозиционных, переносных, ориентирующих), их последовательность и расположение осей (см. гл. 3).

5. *Значения геометрических параметров* — длина звеньев, вылетов, ходов, диапазонов перемещений, значения углов поворота, а также габаритные размеры.

6. *Значения параметров быстродействия* — значения средних скоростей по степеням подвижности, максимальных значений времени перемещения по каждой степени подвижности, время цикла.

7. *Показатели точности* — линейные и угловые погрешности по степеням подвижности.

8. *Возможности управления* — число точек позиционирования (для циклового управления), способы программирования движения, ограничения на объем программ, число хранимых программ, число каналов связи с оборудованием и т. д.

9. *Возможности ощущения* — наличие различных датчиков, позволяющих контролировать положение рабочего органа относительно изделия, усилия взаимодействия и т. д.

В конкретных условиях порядок значимости может быть иным. Так, при обслуживании кузнечно-прессового оборудования в крупносерийном производстве на первое место выходят показатели быстродействия (рабочий цикл роботизированного комплекса определяется вспомогательными операциями, а время выполнения технологической операции мало). При автоматической сборке деталей с малыми зазорами очень важным становится требование высокой точности или наличия специальных средств ощущения. При шлифовании необходимо силовое ощущение и, кроме того, управляющее устройство должно иметь достаточную память. Помимо перечисленных, могут быть и другие требования. Так, при работе роботов в комплексах с большим числом единиц оборудования бывает необходимо иметь большое число каналов связи с этим оборудованием.

При комплектовании роботами проектируемых роботизированных технологических комплексов встречаются следующие ситуации.

1. Робот подбирается готовый, из числа серийно выпускаемых (зачастую такой выбор ограничен вследствие ограниченности выпуска большинства отечественных роботов и невозможности приобретения импортных).

2. Требуемые модификации komponуются из выпускаемых моделей модульных промышленных роботов.

3. Серийно выпускаемый робот модернизируется, дорабатывается в соответствии с конкретными требованиями. Чаще всего проектируются и изготавливаются новые рабочие органы (обычно схваты), а также новые соединительные элементы (специальные основания для крепления робота на оборудовании и на специальных конструкциях, элементы для увеличения вылета или поворота рабочего органа).

4. Под определенную задачу разрабатывается и изготавливается на основе подходящего прототипа специальный робот. Это гораздо сложнее, чем подобрать робот из числа выпускаемых. Но даже и в этом случае невозможно обойтись без каких-либо мелких доработок. Чтобы избежать этого, некоторые предприятия выпускают роботизированные модули в комплекте, так что входящие в них роботы полностью приспособляются к работе с обслуживаемым оборудованием на заводе, выпускающем это оборудование, и по месту эксплуатации осуществляется только монтаж модулей. Однако при этом робот, бывший первоначально универсальным, становится специальным, приспособленным только для определенного станка, что ограничивает гибкость производства. Узкая специализация тем более характерна для встроженных специальных роботов, выпускаемых в комплекте со станками. Обычно встро-

енные роботы имеют малые ходы и вылеты, поэтому транспортные средства должны подавать заготовки близко к рабочей зоне.

§ 9.2. СОГЛАСОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ С ОБОРУДОВАНИЕМ

Приспособление серийно выпускаемых роботов к обслуживаемому оборудованию зачастую влечет за собой полную замену или модернизацию захватных устройств. Поэтому все специалисты по внедрению роботов должны разбираться в конструкциях захватных устройств. Возможны различные варианты простейших переделок (модернизаций) элементов схватов: удлинение рычагов с рабочими элементами, замена рычагов более узкими, замена рабочих элементов полусогласованной формы на элементы с согласованной формой и, наоборот, закрепление накладок из упругих или frictionных материалов, установка датчиков наличия объекта в схвате. Многофункциональные схваты (см. § 7.7) обычно реализуются на базе штатных схватов. При необходимости замены механизма схвата стремятся сохранить двигатель, иначе переделка существенно усложняется. Полная замена захватного устройства необходима в том случае, когда новое захватное устройство имеет другой принцип действия (например, когда механический схват должен заменить вакуумное захватное устройство).

Другой распространенный случай переделки — замена основания робота. В частности, иногда приходится переделывать напольный робот в настольный или, наоборот, изготовлять специальные основания для крепления к стене или к станине оборудования (при переделке напольного робота во встроенный). В некоторых случаях основание не заменяется, а изготавливается дополнительный узел крепления, стойка, кронштейн, на которые потом устанавливается робот. Для увеличения вылета или подъема, а также для поворота рабочего органа нередко приходится изготавливать соединительные элементы, подобные тем, которые имеются в наборах некоторых модульных промышленных роботов (см. рис. 5.4). Однако при этом следует иметь в виду, что введение дополнительных элементов утяжелает конструкцию, поэтому необходимо проверять, остается ли достаточный запас по грузоподъемности.

Гораздо реже в конструкции манипуляторов добавляют новые механизмы, увеличивая число степеней подвижности. Так, иногда напольный робот превращают в подвижный, устанавливая его на тележке, перемещающейся по рельсовому пути. При необходимости добавляются механизмы ориентирующих степеней подвижности (если у робота они отсутствуют совсем, то обычно это механизмы вращения). Если добавляются механизмы поступательных степеней подвижности, то они вводятся в конце кинематической

цепи и предназначаются для выполнения точных, доводочных движений (они обычно имеют малые ходы). При необходимости увеличения ходов по поступательным степеням подвижности редко заменяют механизм перемещения на другой подобный, но с большим ходом (при использовании пневмоцилиндра изготовление длинноходовых пневмоцилиндров сложно), чаще добавляют механизм перемещения по той же оси. Такой же прием используется в тех случаях, когда нужно увеличить число точек позиционирования с двух до четырех. Вообще добавление степеней подвижности, как правило, процедура сложная, во многом зависящая от устройства управления.

Применение модульных промышленных роботов позволяет значительно облегчить согласование с обслуживаемым оборудованием. При традиционных условиях удается полностью избежать доделок, достаточно перекомпоновать модули для получения желаемой модификации из числа предусмотренных изготовителем. Однако нередко приходится комбинировать перекомпоновку модулей с изготовлением новых элементов. Это означает, что штатные модули оказываются недостаточно, наборы модулей приходится пополнять новыми, изготавливаемыми по месту эксплуатации. Заметим, что введение новых элементов для модульных роботов обычно проще, поскольку соединения модулей бывают лучше проработанными и допускают более простую разборку и сборку.

Проектирование и изготовление новых промышленных роботов под новые задачи встречается крайне редко и допускается только тогда, когда существующие роботы не удовлетворяют поставленным требованиям, при том что эти требования технически выполнимы. Разработка новых роботов требует больших затрат времени и больших средств. Поэтому, если существующие роботы невозможно непосредственно применить на участках, подлежащих роботизации, предпочитают идти по пути взаимного приспособления, взаимной адаптации оборудования. Взаимная адаптация может заключаться в изменении расстановки оборудования, в установке дополнительного вспомогательного оборудования, в изменении маршрута при транспортировании, в замене части технологического оборудования и т. п. Приведем несколько простых примеров.

В технологической линии основное оборудование (например, прессы) расставлено в ряды (рис. 9.1, а). По требованию высокой производительности к каждому прессу должен быть приставлен свой робот. Предпочтительно использовать одинаковые роботы с пневмоприводом, работающие в цилиндрической системе координат. Они имеют высокое быстродействие, просты и надежны, их точности, как правило, достаточно в подобных технологических линиях. Точек позиционирования здесь не более трех по всем степеням подвижности, поэтому используется простейшее цикловое управление. Каждый робот стоит против своего прес-

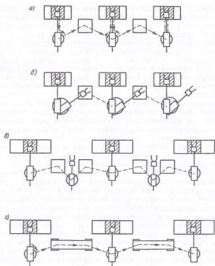


Рис. 9.1

са. После того, как робот забирает заготовку из-под пресса, он устанавливает ее на стол, с которого ее берет следующий робот. Повышение производительности достигается за счет установки двуруких роботов (рис. 9.1, б). Здесь при одном и том же положении механизма поворота захватывание заготовки или ее установка осуществляется одновременно на двух позициях: в рабочей зоне пресса и на одном из столов. Дополнительные сложности возникают в тех случаях, когда вылета руки недостаточно, чтобы достать до стола, установленного посередине между прессами. Тогда возможно несколько вариантов решения; два из них представлены на рис. 9.1, в, г. На рис. 9.1, в показано, что вместо одного стола устанавливаются два. С одного стола на другой заготовку перекладывает дополнительный робот-перекладчик. Таким образом, число роботов удваивается. Другой вариант (рис. 9.1, г)

предусматривает самостоятельные транспортные средства (простейшие транспортеры) или, если это возможно, наклонные лотки, по которым заготовки скользят под собственным весом. Существуют и другие варианты, связанные с перестановкой оборудования. Все они должны сравниваться с вариантом, связанным с увеличением вылета теми или иными средствами.

В плане взаимной адаптации оборудования сложными являются задачи, связанные с переориентированием заготовок. Если ориентирующих возможностей робота недостаточно, то можно использовать специальные кантователи. Для правильного захватывания заготовок необходимо их угловое ориентирование; если первоначально они подуются в торе «навалом», применяют ориентирующие устройства (механические, электромагнитные или другие). Иногда для обеспечения правильного взаимодействия оборудования с роботами необходимо использовать сложные датчики или целые системы, такие, как средства технического зрения в сочетании со сложным устройством управления.

Самые новые сведения о построении роботизированных модулей, участков и линий опубликованы в периодической литературе — в журналах и сборниках. Как отмечалось ранее, хорошим путеводителем может служить реферативный журнал «Промышленные роботы и манипуляторы», в котором публикации о применении роботов распределены по видам производств и отраслям. Сведения о конкретном применении роботов можно найти из описаний аналогичных случаев. При чтении статей особое внимание следует обращать на конкретные модели станков, роботов и другого серийного оборудования (важен сам факт их совместности), на расстановку, планировку оборудования. Следует обращать внимание на то, является ли планировка естественной, традиционной или она специально приспособлена для роботизированного производства. Очень важны сведения о том, какие элементы пришлось проектировать и изготавливать специально (составные части роботов, дополнительные приспособления, специальную тару и пр.). Наконец, данные о процедурах монтажа, наладки и регулировки, а также эксплуатации, особенно, если упоминаются слабые места и сообщается о надежности. К сожалению, именно эти сведения приводятся редко.

§ 9.3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При установке робота, его наладке и эксплуатации должна быть обеспечена безопасность обслуживающего персонала. Общие требования безопасности для роботов сформулированы в одном из разделов ГОСТ 12.2.072—82 «Роботы промышленные, роботизированные технологические комплексы и участки. Общие требова-

ния безопасности», который входит в комплекс Государственных стандартов системы научной организации труда, техники безопасности, санитарии и гигиены труда (ССБТ). Промышленный робот в плане техники безопасности рассматривается как вспомогательное или технологическое оборудование, поэтому на него распространяются многочисленные общетехнические стандарты техники безопасности. Однако промышленный робот как машина, представляющая потенциальную опасность, имеет существенную специфику. Во-первых, рабочее пространство, в которое могут попадать подвижные части работающего робота, достаточно велико, значительно больше, чем для большинства других машин. Во-вторых, скорости перемещений подвижных частей робота часто велики (1–3 м/с и даже более). В-третьих, опасность могут представлять не только быстро движущиеся части манипулятора, но и переносимый объект, который может вырваться из схвата и вылететь за пределы рабочей зоны. В-четвертых, поскольку размещение оборудования роботизированных комплексов может быть различным, требования безопасности даже для одного робота могут существенно изменяться.

Повышенная опасность роботов связана еще и с тем, что в режимах наладки и переналадки некоторых типов роботов оператор должен находиться в рабочей зоне. В частности, оператор находится в рабочей зоне при обучении, когда он вручную перемещает рабочий орган, при некоторых видах испытаний и т. п. Конкретные причины повышенной опасности следующие: непредусмотренные движения исполнительного устройства вследствие ошибок программирования, отказов устройства управления, кратковременного отключения питания и пр.; ошибочные действия оператора во время наладки, обучения или исполнения управляющей программы; обрыв трубопроводов или кабелей, короткие замыкания, поломки элементов передач.

С учетом особенностей роботов и наиболее распространенных причин повышенной опасности формулируются три группы требований к роботам и их основным частям.

1. *Общие требования.* Захватное устройство должно удерживать объект при отключении питания, если срыв объекта представляет опасность. При наладке и обучении скорость перемещения подвижных частей не должна превышать 0,3 м/с. Основная информация об опасных отказах должна выводиться на пульт. К этой группе относятся также требования, общие для любого оборудования (например, электробезопасности).

2. *Требования к предохранительным, блокирующим и защитным устройствам.* Возможность аварийного останова, особенно при непредусмотренном попадании человека в рабочее пространство. Блокирующие устройства должны исключать самопроизвольный переход из одного режима работы в другой. При срабатывании устройства аварийного останова должно быть надежно обеспечено

прекращение всех движений до подачи специальной команды.

3. *Требования к органам управления и средствам отображения информации.* При отказах должна срабатывать сигнализация (световая или звуковая).

Для технологических роботов различного назначения формулируются специфические требования. Так, для сварочных роботов важны требования к электрической прочности изоляции и надежности заземления. Сбалансированные манипуляторы должны сохранять устойчивость с номинальной массой груза при любом подъеме и вылете; скорость опускания объекта в аварийных ситуациях должна быть ограничена.

Обеспечение безопасности достигается многими путями, прежде всего, повышением надежности всех устройств робота. Однако этого недостаточно, необходимы специальные меры повышения безопасности:

- 1) ограждение рабочего пространства — жесткое ограждение или ограждение с применением датчиков, по сигналам которых (если в зону попадает человек) производится останова робота;
- 2) установка на подвижных частях робота жестких или эластичных кожухов, закрывающих соединения или передачи; иногда в кожухи встраивают специальные датчики, прикосновение к которым дает сигнал аварийного останова;
- 3) ограничение усилий захватывания схватов, поскольку при наладке возможно попадание пальцев в зону между рабочими элементами;
- 4) усложнение системы встроенной диагностики отказов устройства управления.

Из рекомендованных книг вопросы техники безопасности при использовании роботов подробнее всего рассмотрены в работе [17].

§ 9.4. ИСПЫТАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Наиболее достоверные данные о качестве выпускаемых промышленных роботов, об их «профессиональной пригодности» могут быть получены только по результатам испытаний. Испытания могут преследовать различные цели, они могут проводиться в различных условиях и по различным программам. Основные положения проведения испытаний роботов установлены ГОСТ 26053–84 «Роботы промышленные. Правила приемки. Методы испытаний».

Стандарт определяет типовую программу испытаний. Начинаются испытания с проверки роботов в нерабочем состоянии. Затем проверяется работа без нагрузки и после этого — под нагрузкой (с грузом, соответствующим номинальной грузоподъемности). Большинство пунктов программы понятно без пояснений. Так, проверяется возможность движений по всем степеням подвижности, возможность работы во всех режимах (ручным и автома-

тическом), возможность и правильность ввода программ вручную и с различных программистов. При испытаниях под нагрузкой наибольшую трудность представляет определение показателей точности. Важными являются показатели быстродействия и грузоподъемности.

Отметим, что смысл понятия «номинальная грузоподъемность» четко не определен. Конечно, в первую очередь проверяется надежность удержания предмета номинальной массы в захватном устройстве. Но этого недостаточно. Необходимо проверить, сохраняется ли требуемая средняя скорость переноса, не возникает ли повышенный износ в соединениях. При испытаниях на грузоподъемность целесообразно оценивать предельно допустимые нагрузки, при повышении которых двигатели перестают справляться с нагрузкой (при подъеме) или нарушается механическая прочность.

При разработке новых промышленных роботов очень важными являются исследовательские испытания. В ходе этих испытаний проверяется принципиальная правильность принятых схемных и конструктивных решений, выявляются слабые места конструкций и нарушений технологии изготовления, оцениваются предельные возможности, устанавливается степень совместимости робота с различным оборудованием, определяются показатели точности, долговечности и долговременной стабильности.

Поясним некоторые из перечисленных пунктов.

Обычный робот не является уж очень сложной машиной, которая создается на пределе технических возможностей. Основные сложности создания роботов заключаются чаще всего в том, что недостаточно учитывается опыт разработок. Нередко ошибки допускаются в пустяках: в креплениях трубопроводов, в уплотнениях пневмо- и гидроцилиндров, в креплениях датчиков. Нередко слабыми местами конструкций являются соединения, в которых происходит разбалтывание. У роботов с электроприводом бывают отказы редукторов вследствие заклинивания и поломки зубьев. Недостаточно надежными оказываются некоторые датчики (потенциометры). Все это нужно выявлять при исследовательских испытаниях (до серийного выпуска). Часто сложной является проверка на совместимость с обслуживаемым оборудованием. Бывает, что у хорошего робота не хватает точности, чтобы установить заготовку в зажимное приспособление, габаритные размеры захватного устройства могут не позволить свободно манипулировать в рабочей зоне и пр. Контроль долговременной стабильности предполагает определение того, насколько сохраняются показатели точности при длительной эксплуатации.

Примечные, приемосдаточные и периодические испытания проводятся уже не для разрабатываемых или экспериментальных образцов, а для серийно выпускаемых роботов. Эти испытания проводят по жесткой и сокращенной (по сравнению с исследовательскими испытаниями) программе.

Наиболее ответственные виды испытаний сопровождаются измерениями. Некоторые из измерений просты. Так, легко измеряются значения ходов, вылета, углов поворота, габаритные размеры, масса. Наибольшую сложность и в то же время важность имеют измерения показателей точности. Расскажем об этом подробнее.

Для всех типов роботов переносимый объект должен занимать требуемое положение. Абсолютная точность здесь невозможна. Всегда имеют место какие-то погрешности положения.

Представим себе объект в форме куба. На рис. 9.2 штриховыми линиями показано требуемое положение его, а сплошными — действительное. Выберем систему прямоугольных координат, в которой задается положение (0 — начало координат; x, y, z — оси). Погрешности положения проявляются в том, что центр объекта (куба) смещается от требуемого положения и сам он поворачивается. Смещение центра задается тремя линейными погрешностями: Δ_x, Δ_y и Δ_z соответственно по осям x, y и z и тремя угловыми погрешностями α_x, α_y и α_z , представляющими собой малые углы поворота вокруг осей x, y и z . Линейные погрешности характеризуют смещение центра объекта (куба). Таким образом, всего нужно определить шесть величин: $\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z, \alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$. Это составляющие погрешностей.

Не все эти составляющие погрешностей представляют интерес. Когда объект имеет малые размеры, угловые погрешности несущественны и можно ограничиться рассмотрением только линейных погрешностей. Однако если объект длинномерный, то даже малые угловые погрешности могут приводить к большим погрешностям положения торцов (рис. 9.3). Бывает так, что линейные погрешности по осям неравноправны. Так, если нужно укладывать объект в виде нала на призматические опоры (рис. 9.4), то погрешности по осям x и z ограничены меньшими значениями, чем по оси y . При сварке разные допуски устанавливаются для смещений вдоль по шву и поперек его. Поэтому при испытаниях нужно знать, какие составляющие погрешностей (линейные и угловые) необходимо измерять.

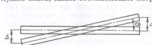


Рис. 9.3

Из того, что сказано, еще не ясно, как измерять составляющие погрешностей. Если параметры действительного

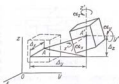


Рис. 9.2

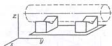


Рис. 9.4

положения могут быть измерены, а требуемое положение непосредственно не задано, его параметры не могут быть измерены. Здесь могут быть разные случаи. Если робот имеет базовую систему координат как станок, то нужно измерять параметры действительного положения объекта, привязав средства измерения (датчики) к базам робота. При аналитическом программировании следует сравнивать значения координат, задаваемых программой, с результатами измерений положений. Разности дают погрешности. Однако почти все вспомогательные роботы и значительная часть технологических роботов не имеют баз, программирование осуществляется обучением или положения задаются на оборудовании (упорами или путевыми переключателями). В этих случаях требуемое положение задается условно, датчики устанавливаются в любом положении, измеряется только разброс положений объекта при повторных выходах в одно и то же положение.

Для роботов с цикловым и позиционным положением важным является точный выход рабочего органа в определенные точки, для роботов с контурным управлением — точное движение рабочего органа по всей заданной траектории.

Рассмотрим сначала технически более простую задачу определения показателей точности при выходе в требуемую конечную точку. В схват устанавливают специальный образец простой формы (в виде куба, шара, цилиндра). На неподвижном штативе устанавливают датчики перемещений, которые измеряют перемещение участков поверхности образца вдоль измерительных осей. Эти датчики могут быть узкодиапазонными, т. е. достаточно, чтобы они позволяли измерять перемещения в пределах нескольких миллиметров.

Удобно использовать распространенные механические контактные датчики — индикаторы часового типа с диапазоном перемещений 10 мм и с ценой деления 0,01 мм. Измерительный наконечник упирается в поверхность, перемещение этой поверхности по продольной (измерительной) оси отсчитывается по шкале. Если требуется определить только три линейные погрешности, то достаточно установить на штативе три индикатора, так чтобы их измерительные оси были взаимно перпендикулярны. Схема их установки изображена на рис. 9.5. Измерительные наконечники упираются во взаимно перпендикулярные грани куба (образца). Отсчеты, конечно, будут зависеть от начальной установки индикаторов. Но если представляет интерес только разброс положений при повторных приходах в одно и то же положение, то важно сделать только индикаторы неподвижными относительно основания робота, т. е. исключить смещения штатива и корпусов инди-

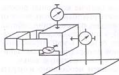


Рис. 9.5



Рис. 9.6

каторов в штативе. При этом, однако, опасность для датчиков могут представлять возможные удары образца в измерительные наконечники; приходится предусматривать их отведение перед каждым измерением.

Если необходимо определять точность при приходе в различные точки рабочей зоны, то штатив с индикаторами приходится переставлять. Обычно значения погрешностей оказываются больше вблизи границ рабочей зоны. Иногда погрешности существенно зависят от того, с какой стороны рабочий орган подходит к конечному положению, тогда нужно переставлять индикаторы, чтобы обеспечить свободный подход с разных сторон.

Если необходимо определять и линейные и угловые погрешности, то вместо трех индикаторов устанавливают шесть (рис. 9.6). По их показаниям вычисляют все шесть искомых составляющих. Те же схемы измерений используют при исследовании влияния на погрешности различных нагрузок (в частности, измененной массы объекта). При этом образец не трогают, а дополнительно нагружают специальными грузами схват. По изменениям показаний индикаторов рассчитывают показатели жесткости, которые используются для многих проверочных расчетов манипулятора. Заметим, что при нагружении вертикальной силой возникают не только вертикальные, но и горизонтальные составляющие погрешностей. Какие из них являются наиболее важными, зависит от области применения робота. Индикаторы с визуальным отсчетом не всегда удобны, так как они не позволяют автоматизировать измерение. Поэтому часто используются бесконтактные датчики с электрическими выходами, например индуктивные (трансформаторные). Каждый такой датчик заменяет один индикатор. Имеются также комбинированные датчики, заменяющие по несколько индикаторов. Такие датчики также являются узкодиапазонными, их дополнительным достоинством является то, что по их сигналам можно регистрировать колебания, возникающие при резкой остановке подвижных частей. Эти колебания тоже важны, потому что могут сопровождаться ударами.

Измерения становятся гораздо более сложными, если положение рабочего органа, точнее, определенных точек рабочего органа

на, необходимо определять в базовой системе координат робота. В этом случае следует точно определить расстояние этих точек от баз робота (обычно специальных площадок на основании робота). Эти расстояния не малы (около 1 м), а точность должна быть высокой (допустимые погрешности не более 0,1 мм). Проведение таких измерений требует специальной аппаратуры, но выполнимо, если контролируется приход в одну определенную точку.

Для роботов с контурным управлением необходимо измерять отклонения от заданной траектории во многих точках, причем на больших перемещениях. При этом измерять положение следует не при остановке (что проще), а во время движения, в динамическом режиме. Таких измерительных установок, которые можно было бы использовать для подобных измерений, нет, однако существует несколько перспективных предложений. Одно из них заключается в использовании измерительной системы, построенной на ультразвуковых дальнометрических датчиках. Излучатель ультразвуковых колебаний устанавливается вместо рабочего органа робота, на основании размещаются приемники (не менее трех). По разностям фаз колебаний определяют расстояния излучателя до приемников, а по ним с использованием формул тригонометрии рассчитывают координаты излучателя. Расчеты должны выполняться на ЭВМ. Подобные системы отличаются сложностью и не позволяют измерять угловые погрешности.

В настоящее время наиболее подходящими для измерения координат при больших перемещениях являются многозвенные измерительные машины, имеющие точные датчики.

Измерительная машина представляет собой механизм без приводов с захватным устройством. Объект, находящийся в схвате испытуемого робота, одновременно захватывается схватом измерительной машины. Робот перемещает объект и через него приводит в движение механизм измерительной машины. Датчики, измеряющие линейные перемещения или углы поворота в каждой кинематической паре, дают сигналы, поступающие в вычислительное устройство; оно вычисляет погрешности положения объекта. Для того чтобы результаты вычислений были правильными, точность измерительной машины должна быть выше точности робота.

Кинематические схемы измерительных машин могут быть различными; один из вариантов изображен на рис. 9.7 (слева — робот, справа — измерительная машина).

На простейших траекториях (в первую очередь — на прямых) показатели точности могут быть определены экспериментально более простыми средствами. Требуемая траектория материально реализуется в виде линейки подходящего профиля. Вместо рабочего органа устанавливается блок датчиков, которые могут измерять малые поперечные отклонения от линейки. Задается управляющая программа, при точном выполнении которой датчики

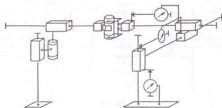


Рис. 9.7

перемещались бы на постоянном расстоянии от линейки. При этом составляющие погрешностей в поперечных направлениях проявляются в том, что расстояния датчиков до линейки изменяются. Достоинством способа является то, что могут быть использованы узкодиапазонные датчики, бесконтактные (трансформаторные) или даже контактные. Перестановкой линейки в различные положения можно определять показатели точности для различных (но только прямолинейных) траекторий. Если датчики заменить контактами, установленными на некотором расстоянии от линейки, то устройство может быть использовано для контроля: появление контакта будет свидетельствовать о том, что погрешности превосходят допуск (установленный зазор).

При испытаниях роботов очень важно измерять ускорения. При движении по одной степени подвижности упрощенный график изменения скорости имеет вид, показанный на рис. 9.8, а, а график изменения линейного ускорения — на рис. 9.8, б. Первым является участок разгона, после этого следует участок движения с постоянной скоростью, на последнем участке происходит торможение (при торможении ускорение отрицательно).

В реальных условиях в зависимости от типа привода и режимов движения вид закона изменения ускорения может существенно изменяться. Так, при малых перемещениях средний участок движения с постоянной скоростью может отсутствовать и тогда после разгона сразу будет следовать торможение (рис. 9.8, в). Импульсы разгона и торможения могут приобретать различную и сложную форму, после остановки привода будут проявляться затухающие упругие колебания. Кроме того, если и имеется средний участок, то скорость на нем не постоянна, а несколько меняется в силу разных причин, вследствие чего ускорения не равны нулю.

Многие из отмеченных особенностей закона изменения ускорения несут важную информацию о показателях робота. Максимальные значения ускорения, наблюдаемые чаще всего в импульсе

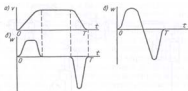


Рис. 9.8

торможения, определяют максимальные силы инерции, действующие на объект, зажатый в схвате. Их определение необходимо для правильного выбора усилия захватывания, чтобы обеспечить требуемый запас несущей способности. При позиционировании подвижных частей по упорам с применением демпферов по виду импульса торможения удобно настраивать дроссель демпфера, чтобы торможение было более плавным. Вообще неплавность движений, которая оставляет неприятное впечатление при наблюдении за работой робота, наиболее отчетливо видна на записях ускорений. При диагностике некоторые виды отказов проще всего обнаруживаются именно по записям ускорений. Упругие колебания конструкций, нежелательные по многим причинам, также проще всего выявляются по записям линейных ускорений.

Измерение линейных ускорений осуществляется линейными акселерометрами. К точности измерения ускорений не предъявляются высоких требований, максимальные значения ускорений могут измеряться с погрешностями 10–20 %. Для измерения импульсных ускорений можно использовать распространенные пьезоакселерометры, но для выделения медленно изменяющихся составляющих ускорения они не пригодны.

При испытаниях часто бывает необходимо измерять значения сил. Так, подлежит измерению усилие захватывания, создаваемое схватом. При исследовании работы робота совместно с обслуживаемым оборудованием важно знать, с какими усилиями манипулятор действует через захватываемый объект на элементы этого оборудования.

Для технологических роботов, рабочий орган которых силовым образом взаимодействует с объектом, необходимо измерять силы взаимодействия. У сильно нагруженных манипуляторов следует контролировать силы и моменты в наиболее напряженных сечениях. Для измерений используют серийно выпускаемую силоизмерительную аппаратуру. Но иногда нужно одновременно измерять несколько составляющих сил и моментов. Для этого используют так называемые многокомпонентные датчики.

Измерение показателей быстродействия сложностей обычно не представляет. Время цикла (для цикловых роботов) определяется по электронному секундомеру. В некоторых случаях при испытаниях можно использовать сигналы внутренних датчиков робота (находящихся в состав системы управления робота). Контрольные приборы для испытаний должны быть независимыми и иметь большую точность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация дискретного производства / Под ред. Е. И. Семенова, Л. И. Волчекевича.— М.: Машиностроение, 1987.
2. Белянин П. Н. Робототехнические системы для машиностроения.— М.: Машиностроение, 1986.
3. Белянин П. Н. Кинематические схемы, системы и элементы промышленных роботов.— М.: Машиностроение, 1992.
4. Белянин П. Н. Состояние и развитие техники роботов // Проблемы машиностроения и надежности машин.— РАН, 2010.— № 2.— С. 85—96.
5. Бурдаков С. Ф., Дыченко В. А., Тимофеев А. Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов.— М.: Высш. шк., 1986.
6. Велькович В. Б., Жаптаров Н. Ш., Кагановский И. П. Робототехника в России.— М., 1992.
7. Гибкие производственные комплексы / Под ред. П. Н. Белянина, В. А. Лещенко.— М.: Машиностроение, 1984.
8. Давыд Н. М., Гондратьев А. Н., Юревич Е. И. Роботизированные технологические процессы в ГПС.— Л.: Машиностроение, 1990.
9. Иванов А. А. Гибкие производственные системы в приборостроении.— М.: Машиностроение, 1988.
10. Коловский М. Э., Саузов А. В. Основы динамики промышленных роботов.— М.: Наука, 1988.
11. Кореняев А. И., Саламидов Б. Л., Тывес Л. И. Манипуляционные системы роботов.— М.: Машиностроение, 1989.
12. Механика промышленных роботов. В 3-х книгах / Под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева.— М.: Высш. шк., 1989.
13. Механические системы вакуумно-космических роботов и манипуляторов. Теория, расчет, проектирование, применение / Под ред. Н. В. Василенко, К. Н. Яценко.— Красноярск: МГП «РАСКО», 1998.
14. Нафалов Ю. В., Рабон В. Т., Цветков Ю. Б. Оборудование производства интегральных микросхем и промышленные роботы.— М.: Радио и связь, 1988.
15. Петров А. А., Маслаевский Е. К. Англо-русский словарь по робототехнике.— М.: Русский язык, 1989.
16. Попов Е. П., Писемский Г. В. Основы робототехники: введение в специальность.— М.: Высш. шк., 1990.
17. Проектирование и разработка промышленных роботов / Под ред. П. Н. Белянина, Я. А. Шифрина.— М.: Машиностроение, 1989.
18. Шахматур М. Курс робототехники.— М.: Мир, 1990.
19. Челпанов И. Б., Колпачников С. Н. Схваты промышленных роботов.— Л.: Машиностроение, 1991.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
ГЛАВА 1	
Промышленные роботы и современная техника	6
§ 1.1. Промышленные роботы в производственных системах	—
§ 1.2. Обзор литературы по робототехнике	15
ГЛАВА 2	
Общие сведения о промышленных роботах	19
§ 2.1. Оборудование, близкое к промышленным роботам	—
§ 2.2. Термины и определения в области робототехники	36
§ 2.3. Стандарты в робототехнике	40
§ 2.4. Номенклатура основных показателей промышленных роботов	41
§ 2.5. Типовые соотношения между основными показателями промышленных роботов	47
ГЛАВА 3	
Структурные и кинематические схемы манипуляторов промышленных роботов	51
§ 3.1. Степени подвижности и кинематические пары	—
§ 3.2. Критерии сравнения кинематических схем	53
§ 3.3. Схемы манипуляторов с двумя степенями подвижности	57
§ 3.4. Схемы манипуляторов с тремя степенями подвижности	61
§ 3.5. Схемы ориентированных устройств	68
§ 3.6. Схемы параллельной структуры	72
§ 3.7. Схемы манипуляторов с дополнительными степенями подвижности	73
ГЛАВА 4	
Некоторые серийно выпускаемые промышленные роботы	78
§ 4.1. Типичные образцы вспомогательных роботов	79
§ 4.2. Типичные образцы технологических роботов	88
ГЛАВА 5	
Модульные промышленные роботы	102
§ 5.1. Принципы модульного построения оборудования	—
§ 5.2. Виды модулей промышленных роботов. Способы построения модификаций	105
§ 5.3. Примеры модульных промышленных роботов	112
ГЛАВА 6	
Механизмы и элементы конструкций промышленных роботов	117
§ 6.1. Двигатели манипуляторов промышленных роботов	118
§ 6.2. Механизмы передач промышленных роботов	123
§ 6.3. Несущие конструкции промышленных роботов	129
ГЛАВА 7	
Рабочие органы промышленных роботов	133
§ 7.1. Рабочие органы технологических промышленных роботов	—
§ 7.2. Общие сведения о захватных устройствах	140
§ 7.3. Вакуумные и электромагнитные захватные устройства	145
§ 7.4. Механические захватные устройства	148
§ 7.5. Схваты, их двигатели, схемы механизмов	150
§ 7.6. Возможные варианты компоновки схватов	163
§ 7.7. Некоторые особые задачи проектирования схватов	165
ГЛАВА 8	
Управление промышленными роботами	168
§ 8.1. Производственные задачи и требования к управлению	169

§ 8.2. Общая структура системы управления	174
§ 8.3. Цикловое программное управление	178
§ 8.4. Позиционное и контурное программное управление	183

ГЛАВА 9

Промышленные роботы в роботизированных комплексах	185
§ 9.1. Требования к промышленным роботам	186
§ 9.2. Согласование промышленных роботов с оборудованием	188
§ 9.3. Промышленные роботы и техника безопасности	191
§ 9.4. Испытания промышленных роботов	193
Список литературы	202

ISBN 5-7325-0562-8



9 785732 505627

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Челпанов Игорь Борисович

УСТРОЙСТВО ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Редактор Л. М. Манучарян
Переплет Т. М. Карламовичей
Технический редактор Т. М. Жданов
Корректор Т. И. Гринчук, Э. С. Романова
Набор Т. Н. Бобан-Луценко
Верстка О. Е. Степурко, О. В. Туевкова

ЛР № 010292 от 18.08.98

Сдано в набор 17.05.01. Подписано в печать 09.10.01. Формат издания 60×90 1/16.
Гарнитура TimesLT. Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 13,0.
Уч.-изд. л. 13,6. Тираж 3000. Заказ № 3443

Государственное предприятие "Издательство «Политехника»".
191011, Санкт-Петербург, Инженерная ул., 8.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ГП «Типография им. П. Ф. Анискина».
185005, г. Петропавловск, ул. «Правды», 4.

Государственное предприятие
«Издательство
«ПОЛИТЕХНИКА»»
предлагает:

Г. Н. Попова,
С. Ю. Алексеев

Машино- строительное черчение



ISBN 5-7325-0467-2
Объем 453 с.
Формат 60×90 1/16
Цена 40 руб.
Тираж 20 000 экз.

Справочник содержит материалы, необходимые для оформления машиностроительных чертежей и схем в соответствии со стандартами ЕСКД. Приведены таблицы по допускам и посадкам, резьбам, крепежным изделиям, показаны условные обозначения на чертежах. Рассмотрены вопросы инженерного проектирования и геометрического черчения.

Первыми составителями справочника были В. А. Федоренко и А. И. Шонин (1948 г.). Книга выдержала 20 изданий общим тиражом более 4 млн экз.

В новом издании (1-е изд. 1986 г.) учтены изменения и дополнения в государственных стандартах на 01. 01. 98.

Книгу можно приобрести в издательстве по адресу:
191011, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6, 3-й этаж.

Часы работы: с 10.00 до 18.00.

Выходные: суббота, воскресенье.

Телефоны: 312-44-95, 312-53-90. Факс 312-53-90.

Возможна отправка книг «Книга—почтой». Книги рассылаются покупателям в России наложенным платежом (без задатка).

Почтовые расходы составляют 40 % и выше от стоимости заказанных Вами книг.

Государственное предприятие
«Издательство
«ПОЛИТЕХНИКА»»
в серии «Учебник для техникумов
и колледжей»
предлагает:

М. С. Мовнин,
А. Б. Израелит,
А. Г. Рубашкин
**Основы
технической
механики**



ISBN 5-7325-0509-1
Объем 286 с.
Формат 60×90 1/16
Цена 61 руб.
Тираж 2000 экз.

Учебник содержит комплекс важнейших общетехнических знаний и включает четыре раздела: статику; основы сопротивления материалов; элементы кинематики и динамики; детали механизмов и машин.

Теоретические построения и выводы формул даны без использования аппарата высшей математики на основе единой методической системы, обеспечивающей наглядность и раскрытие физической сущности рассматриваемых явлений. Приведены примеры по всем вопросам курса, которые помогут учащимся при выполнении домашних заданий.

Книгу можно приобрести в издательстве по адресу:
191011, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6, 3-й этаж.

Часы работы: с 10.00 до 18.00.

Выходные: суббота, воскресенье.

Телефоны: 312-44-95, 312-53-90. Факс 312-53-90.

Возможна отправка книг «Книга—почтой». Книги рассылаются покупателям в России наложенным платежом (без задатка).

Почтовые расходы составляют 40 % и выше от стоимости заказанных Вами книг.

Государственное предприятие
«Издательство
«ПОЛИТЕХНИКА»»
в серии «Учебник для техникумов
и колледжей»
предлагает:

В. М. Никифоров
Технология
металлов
и конструкционные
материалы



ISBN 5-7325-0512-9
Объем 382 с.
Формат 69х90 1/16
Цена 70 руб.
Тираж 3000 экз.

В учебнике приведены данные о строении и свойствах металлов, методах их испытания, основах теории сплавов, производстве черных и цветных металлов, химической и химико-термической обработке металлов и сплавов. Освещены современные способы обработки конструкционных материалов. Даны понятия об электронных автоматических устройствах и гибких производственных системах.

Обработка различных видов конструкционных материалов на металлорежущих станках и собственно металлообрабатывающие станки рассмотрены в соответствии с классификацией ЭНИМС.

В 8-м издании (7-е изд. 1987) даны новые сведения о порошковой металлургии, коррозии металлов и сплавов, способах предохранения от коррозии, а также о жидких кристаллах.

Учебник предназначен для учащихся техникумов, лицеев, студентов вузов, инженеров и техников всех технических специальностей.

Книгу можно приобрести в издательстве по адресу:
191011, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6, 3-й этаж.
Часы работы: с 10.00 до 18.00.
Выходные: суббота, воскресенье.
Телефоны: 312-44-95, 312-53-90, Факс 312-53-90.

Возможна отправка книг «Книга — почтой». Книги рассылаются покупателям в России наложенным платежом (без задатка). Почтовые расходы составляют 40 % и выше от стоимости заказанных Вами книг.