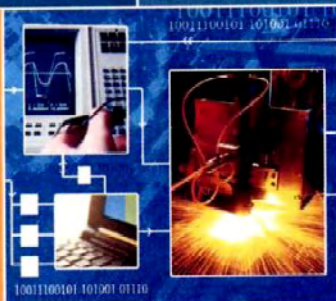


Высшее профессиональное образование

Б. В. Шандров
А. Д. Чудаков

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Учебник



Автоматизация
и управление

Б. В. ШАНДРОВ, А. Д. ЧУДАКОВ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

УЧЕБНИК

Допущено

*Министерством образования и науки Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Автоматизация машиностроительных
процессов и производств (машиностроение)» направления подготовки
«Автоматизированные технологии и производства»*



Москва
Издательский центр «Академия»
2007

УДК 681.5(075.8)

ББК 32.965я73

Ш201

Рецензенты:

зав. кафедрой «Технология машиностроения» РУДН, д-р техн. наук, проф.

В. А. Рогов;

д-р техн. наук, проф. (НИЦ «Логистика») *А. И. Левин*

Шандров Б. В.

Ш201 Технические средства автоматизации : учебник для студ. высш. учеб. заведений / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 368 с.

ISBN 978-5-7695-3624-3

Описываются современные технические средства автоматизации: электрические, электронные, пневматические, гидравлические и комбинированные, в том числе соответствующие датчики и исполнительные механизмы, интерфейсные, микропроцессорные и компьютерные устройства. Приводятся их технические характеристики и соответствующая классификация. Даются также сведения по интегрированным системам автоматизированного проектирования и управления в машиностроении, их организационному, методическому, математическому и программному обеспечению.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 681.5(075.8)

ББК 32.965я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Шандров Б. В., Чудаков А. Д., 2007

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2007

ISBN 978-5-7695-3624-3

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2007

ВВЕДЕНИЕ

Под *автоматизацией* производственных процессов понимается выполнение этих процессов с ограниченным участием человека. Соответственно под системой автоматизации производственных процессов понимается совокупность приборов и устройств, связанных между собой, с персоналом, оборудованием, реализующим данный производственный процесс, и смежными службами, а также методы использования этой совокупности.

В последнее время автоматизация производственных процессов становится одним из основных направлений технического прогресса в машиностроении.

Эффективность автоматизации машиностроительного производства обуславливается в первую очередь повышением производительности труда, т. е. объемом выпуска изделий в единицу времени, приходящимся на одного занятого в производстве человека. Это обеспечивается как за счет автоматизации подготовки производства, так и за счет автоматизации собственно технологических процессов.

Рост производительности труда в автоматизированном производстве по сравнению с неавтоматизированным производством обеспечивается за счет следующих факторов:

- общее сокращение численности работающих, поскольку в автоматизированном производстве часть функций рабочих, техников и инженеров выполняется машинами;

- сокращение длительности рабочих циклов выпуска изделий.

Рабочим циклом называется отрезок времени, за который в технологическом процессе осуществляется повторяющийся выпуск одного изделия. Время рабочего цикла $t_{ц}$ представляет собой сумму времени рабочих $t_{р.х}$ и холостых $t_{х.х}$ ходов оборудования. В соответствии с этим

$$t_{ц} = t_{р.х} + t_{х.х}.$$

Рабочие ходы не зависят от степени автоматизации технологического процесса и выполняются технологическим оборудованием (станками, прессами, стендами и т. п.) в соответствии с их проектным назначением. При выполнении рабочих ходов происходят снятие стружки, штамповка, окраска, запрессовка подшипников и другие технологические операции. Длительность вы-

полнения рабочих ходов $t_{р.х}$ зависит от конструкции применяемого технологического оборудования, методов и режимов его использования.

Холостые ходы представляют собой вспомогательные движения, которые необходимы для подготовки выполнения рабочих ходов. К холостым ходам следует отнести установку и снятие деталей на станках, транспортировку деталей, подналадку оборудования и др. Эти и подобные действия в автоматизированном производстве выполняются автоматическими машинами без участия человека или при его участии, сведенном к минимуму, поэтому на их выполнение затрачивается меньше времени, чем в неавтоматизированном производстве.

Сокращение времени рабочего цикла приводит к уменьшению времени на производство единицы продукции и, следовательно, ведет к снижению трудоемкости и себестоимости ее изготовления. Существенно также, что подготовка производства изделий, требующая переработки большого объема конструкторской и технологической информации, с появлением относительно дешевых и надежных ЭВМ также может быть автоматизирована.

В автоматизированном производстве стабилизируется качество продукции, повышается ритмичность выпуска и уменьшается влияние на производство субъективных факторов. Автоматизация производства предъявляет более высокие требования к квалификации рабочего персонала и способствует росту этой квалификации. Повышение уровня автоматизации производственных процессов улучшает условия труда, делает труд более комфортным и безопасным, способствует его интеллектуализации.

Чтобы автоматизация подготовки производства и технологических процессов была экономически эффективной, необходимо выполнение ряда условий:

- повышение технологичности конструкции изделий;
- обеспечение доступа к информации о конструкции изделий;
- создание технологических процессов, прогрессивных с точки зрения производительности, себестоимости и способности к автоматизации;
- обеспечение доступа к информации о технологических процессах изготовления изделий;
- создание условий для технологического обеспечения качества изделий;
- наличие надежных и безопасных устройств автоматизации всех остающихся неавтоматизированными элементов рабочего цикла.

Поэтому понятие автоматизации производственных процессов включает комплекс мероприятий, направленных на сокращение общего числа работающих, занятых как в конструкторской и технологической подготовке производства, так и собственно в производстве. Именно этим обеспечивается повышение эффективно-

сти производства и качества продукции, а также улучшение условий труда.

Автоматизация производственных процессов на практике осуществляется на разных уровнях.

Автоматизация нулевого уровня имеет место быть, когда участие человека исключается только при выполнении рабочих ходов. Примером может служить включение и выключение вращения шпинделя или движения подачи инструментов. Автоматизация нулевого уровня называется также *механизацией*. Поэтому для проведения автоматизации необходимо прежде провести механизацию производственных процессов.

При автоматизации рабочего цикла в серийном и поточном производствах часто ограничиваются созданием устройств, исключая участие человека в выполнении холостых ходов на отдельных агрегатах технологического оборудования. В этом случае говорят об автоматизации первого уровня.

При автоматизации первого уровня в штучном времени должно учитываться как основное время рабочих циклов, так и вспомогательное время, затрачиваемое на отвод и подвод инструмента, загрузку оборудования и контроль, а также время технического обслуживания, затрачиваемое на смену инструмента, наладку оборудования, удаление отходов, управление и отдых рабочего.

Автоматизация первого уровня не подразумевает связь рабочих машин между собой автоматической связью. Транспортировка и контроль обрабатываемых изделий осуществляется в этом случае с участием человека. Применяемое технологическое оборудование может в этом случае быть как автоматическим, так и полуавтоматическим. В случае использования полуавтоматического оборудования автоматизируется только процесс изготовления одного изделия (детали), а его установ и снятие осуществляется с участием человека. В случае использования автоматического оборудования автоматизируется как процесс изготовления одного изделия (детали), так и его установ и снятие. Примером автомата может служить современный токарный многошпиндельный станок, который выполняет обтачивание, сверление, зенкерование, развертывание и нарезание резьбы, причем заготовкой является многократно автоматически подаваемый до упора стальной пруток.

Автоматизация второго уровня сводится к автоматизации технологического процесса в целом. При втором уровне автоматизации обеспечивается решение задач автоматизации транспортировки, контроля изделия (детали), удаления отходов и управления системами машин. Этому уровню автоматизации соответствуют различного типа автоматические линии и гибкие производственные системы (ГПС).

Под *автоматической линией* принято понимать автоматически действующую систему машин, установленных в технологической последовательности и объединенных средствами транспортировки, загрузки-разгрузки, контроля, управления и удаления отходов. Примером могут служить различного рода автоматические линии, широко применяющиеся в автомобильном производстве.

Автоматическая линия состоит из отдельных единиц технологического оборудования, которые komponуются под определенный вид транспорта и связываются с ним с помощью тех или иных устройств загрузки-выгрузки (манипуляторов, лотков, подъемников). В такой линии помимо рабочих позиций могут иметься и холостые позиции, которые необходимы для осмотра и обслуживания данной линии.

Если на некоторых позициях линии предусматривается участие человека, то такая линия называется *автоматизированной*.

На *гибких производственных системах* в отличие от автоматических линий не может быть заранее предусмотрена обработка деталей одного какого-либо наименования или обработка конструктивно и технологически подобных изделий. Поэтому на таких ГПС технологическое оборудование должно быть переналаживаемым (чаще всего это станки с ЧПУ); оно не располагается в технологической последовательности, поскольку эта технологическая последовательность не может быть известна заранее. Документом, регламентирующим последовательность выполнения технологических операций, здесь является не маршрутная технология, как в случае автоматической линии, а расписание загрузки оборудования, составляемое в результате планирования работы данной гибкой производственной системы.

Третьему уровню автоматизации соответствует комплексная автоматизация. *Комплексная автоматизация* охватывает все этапы и звенья производственного процесса, начиная от конструкторской и технологической подготовки производства (а также заготовительных процессов) и заканчивая проведением испытаний и отправкой готовых изделий. Комплексная автоматизация подразумевает реализацию всех предшествующих уровней автоматизации. Она требует высокой технической оснащенности производства и больших капитальных затрат. Такая автоматизация оказывается особенно эффективной при достаточно больших программах выпуска изделий стабильной конструкции. В качестве примера здесь может быть названо производство подшипников качения, отдельных агрегатов машин, аппаратов электрооборудования и др. Однако несмотря на указанные ограничения именно комплексная автоматизация способна обеспечить развитие производства в целом и эффективное использование производимых капитальных затрат. Это подтверждается мировой практикой развития машиностроения.

Осуществляя третий уровень автоматизации производства, можно добиться решения задач автоматизации складирования и межцеховой транспортировки изделия с его автоматическим адресованием, переработки отходов и управления производством на базе широкого использования средств вычислительной техники. На этом уровне автоматизации участие человека в производстве на всех его этапах сводится к обслуживанию оборудования и поддержанию его в рабочем состоянии.

Наконец, часто используется также понятие интегрированной производственной системы. Для интегрированной производственной системы характерно слияние (интеграция) сферы информационной технологии с производственной сферой. Это подразумевает также создание и ведение автоматизированных конструкторских и технологических архивов и автоматизацию организационной и конструкторско-технологической подготовки производства. Организация, ведение и использование в производстве различного рода баз данных требует унификации используемых при этом идентификационных единиц, перестройки всего производства и, как следствие, больших приведенных капитальных затрат. Однако именно в таком случае резко сокращаются сроки освоения новых изделий и продолжительности рабочих циклов их производства.

Уровни автоматизации представлены на рис. В.1.



Рис. В.1. Уровни автоматизации

Автоматизация направлена на разрешение проблем производства, которые в условиях рыночной экономики изменяются в соответствии со складывающейся конъюнктурой. В условиях рыночной экономики можно выделить следующие черты, характерные для современного машиностроения:

- автоматизация становится технологически более гибкой, поскольку происходит более быстрое моральное старение изделий, возрастает разнообразие модификаций изделий, повышаются требования к качеству и надежности машин, увеличивается доля мелкосерийного и серийного производств;

- развитие автоматизации происходит на основе все более широкого использования компьютерной, особенно микропроцессорной техники, в первую очередь в системах управления и контроля;

- значительно большее, чем прежде, внимание уделяется автоматизации заготовительных процессов и сборки, что объясняется тем, что в машиностроении трудоемкость заготовительных и сборочных процессов составляет от 15 до 30 % от общей трудоемкости изделия.

Традиционное сборочное производство многолюдно, а значит качество и производительность машиностроительного производства здесь неизбежно подвержены влиянию субъективных факторов. Это значит также, что в автоматизации сборочных операций имеются большие резервы повышения качества и производительности машиностроительного производства.

Необходимость автоматизации заготовительных процессов во многом обусловлена тяжелыми и вредными для здоровья условиями труда.

Поэтому в современных пресово-кузовных производствах, осуществляющих сварку элементов листовой штамповки, применяются автоматизированные линии, например для сварки кузовов автомобилей и кабин лифтов и для их окраски.

Таким образом, в настоящее время основными направлениями технического прогресса, связанными с развитием автоматизации, являются:

- 1) повышение технологичности конструкций машин и их агрегатов;

- 2) создание технологических процессов и технологического оборудования с оптимальной концентрацией простейших операций;

- 3) широкое применение различного рода автоматических (автоматизированных) линий и гибких производственных систем в качестве основы автоматизации массового, серийного и мелкосерийного производств;

- 4) автоматизация загрузки и разгрузки технологического оборудования;

5) автоматизация транспортировки и контроля изделия (детали), а также удаления отходов;

6) автоматизация управления технологическими и производственными процессами.

Однако технологические и производственные процессы — это не одно и то же.

Производственным процессом принято называть совокупность всех этапов производства изделий (деталей). Производственный процесс включает в себя изготовление заготовок деталей, различные виды их обработки, контроль качества, сборку и испытание агрегатов и машин. На предприятиях производственный процесс подразделяется на части, которые размещаются по отдельным специализированным цехам или корпусам: кузнечно-прессовое, литейное, механосборочное, инструментально-штамповое производства и др.

Технологическим процессом называется часть производственного процесса, которая непосредственно связана с механической и термической обработкой или сборкой изделия (детали).

Экономическая эффективность применения автоматизации различного уровня в основном обуславливается двумя факторами:

- годовой программой выпуска;
- технологичностью конструкции изделия и его элементов.

Весьма целесообразным оказывается применение унификации элементов конструкции машин, что означает сведение к минимуму числа используемых видов и типоразмеров элементов машин, обеспечение их взаимозаменяемости и необходимого качества. Высшей ступенью унификации конструктивных элементов является их стандартизация. В качестве примеров унифицированных и стандартизованных конструктивных элементов можно назвать металлический крепеж, зубчатые колеса, подшипники качения, агрегаты гидро- и пневмоаппаратуры и др.

В последнее время при решении вопросов постановки изделия на производство все большее внимание уделяется технологичности конструкции этих изделий. Под *технологичностью* конструкции изделия понимается его способность отвечать требованиям автоматизированного производства, обеспечивая возможность выпуска продукции требуемого качества с минимальными затратами средств и времени.

Различают технологичность деталей и технологичность сборочных единиц.

Технологичность деталей определяется следующими основными факторами:

- материал и масса детали;
- технические требования;
- способ получения заготовки;
- тип детали (вал, диск, рычаг, корпус, зубчатое колесо и др.);

- конфигурация, симметричность и устойчивость конструкции детали;

- наличие труднообрабатываемых поверхностей, таких как поверхности со сложным профилем, глубокие отверстия сравнительно небольшого диаметра и др.

Технологичность сборочных единиц рассматривается с других позиций. Автоматическая сборка в общем случае предусматривает подачу деталей в зону сборки, их ориентацию и последующее соединение.

Наиболее сложным процессом с точки зрения его автоматизации является ориентация деталей в зоне сборки. Принято различать несколько степеней автоматической ориентации деталей для их последующего соединения.

Нулевую степень ориентации имеют детали, которые при сборке в ориентации не нуждаются. Примером могут служить шарики подшипников качения.

Первая степень ориентации характерна для деталей, у которых имеется одна ось симметрии X и одна плоскость симметрии YZ . Для ориентации таких деталей перед их соединением требуется только одно движение: поворот детали вокруг координатной оси Y .

Вторая степень ориентации характерна для деталей, у которых имеется лишь одна ось симметрии X . Для ориентации таких деталей перед их соединением требуются два движения: поворот детали вокруг координатной оси Y и поворот детали вокруг координатной оси Z .

Несимметричные детали имеют третью степень ориентации. Это означает, что для ориентации таких деталей перед их соединением требуются три движения: повороты детали вокруг координатных осей X , Y и Z .

Технически очень сложно осуществлять автоматическую ориентацию корпусных деталей. Идеальным с точки зрения автоматизации сборочных процессов является тот случай, когда корпусная деталь имеет форму куба.

Для современного этапа развития автоматизации в машиностроении характерны не только автоматизация собственно производственного процесса по всем его переделам, но и автоматизация подготовки производства. Автоматизация подготовки производства становится особенно актуальной при запуске в производство новых изделий. В условиях рыночной экономики особенно важно гибко реагировать на изменения рыночной конъюнктуры, что делает чрезвычайно важным сокращение срока освоения новых изделий с требуемым уровнем качества и соответствующими объемами выпуска.

Подготовка производства включает в себя конструкторскую подготовку производства, в том числе автоматическую или авто-

матризованную разработку общих видов, спецификаций и детализировку, технологическую подготовку производства, в том числе автоматическую или автоматизированную разработку маршрутных и операционных технологий, схем базирования и зажима, схем и точек контроля, операционных эскизов, расчет режимов обработки и управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Подготовка производства включает в себя также организационную подготовку производства, в том числе автоматическую или автоматизированную разработку схем доставки и складирования материалов, сырья и комплектующих изделий, управление запасами и разработку планов загрузки оборудования, предварительный расчет технико-экономических показателей (ТЭП).

Схема автоматизации подготовки производства представлена на рис. В.2.

Автоматизация подготовки производства сводится к переработке средствами вычислительной техники с помощью пакетов проблемно-ориентированных прикладных программ информации, содержащейся в технической документации на осваиваемое изделие. Для ввода этой информации применяются обычные способы ввода информации в компьютер, в частности используются клавиатура и сканеры.

Здесь различаются два случая: прохождение повторяющегося или оригинального заказа. Поэтому прежде всего система автоматизированной подготовки производства обращается к ведущемуся автоматизированному техническому архиву и выясняет, с каким из этих двух случаев мы имеем дело.

Если имеется в виду повторяющийся заказ, то выискиваются наиболее близкие к нему конструктивный и технологический аналоги.

Если мы имеем дело с оригинальным заказом, то производится полная конструкторская, технологическая и организационная подготовка его запуска в производство с последующим занесением полученной информации в автоматизированный технологический архив.

В зависимости от назначения системы автоматизации производственных процессов в современном машиностроении подразделяются следующим образом:

- автоматической сигнализации, предназначенные для оповещения обслуживающего персонала о состоянии (работы, ожидания работы, пребывания в ремонте) того или иного технологического агрегата либо о протекании того или иного технологического или производственного процесса;

- автоматического контроля (без участия человека) за различными параметрами и величинами, характеризующими работу того или иного технологического агрегата либо протекание того или иного технологического или производственного процесса;

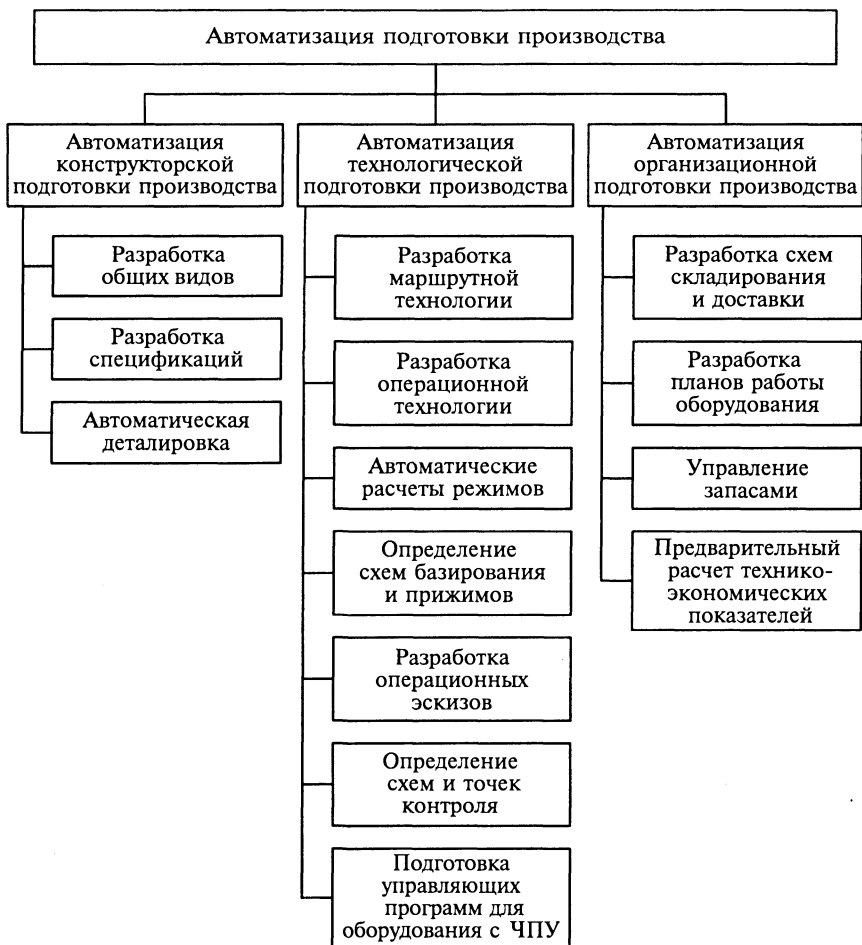


Рис. В.2. Схема автоматизации подготовки производства

- блокировки и защиты, предотвращающие возникновение аварийных ситуаций в тех или иных технологических агрегатах;
- автоматического или автоматизированного пуска и останова, обеспечивающие включение, останова и реверс различных двигателей, необходимых для запрограммированного протекания того или иного технологического или производственного процесса;
- автоматического или автоматизированного управления работой того или иного технологического агрегата или же их групп либо протеканием того или иного технологического или производственного процесса.

Для получения данных о ходе производственного процесса и его дальнейшей автоматизации используются датчики первичной информации и элементы систем автоматизации, использующие и преобразующие полученную с датчиков хода производственного процесса информацию в целях последующей работы различного рода сервоприводов, приводящих в действие исполнительные механизмы систем автоматизации.

К такого рода компонентам систем автоматизации производственных процессов относятся:

- датчики и чувствительные элементы (ЧЭ) параметров хода производственного процесса;
- усилители различного функционального назначения и различной физической природы;
- стабилизаторы;
- переключательные и логические элементы;
- исполнительные сервоприводы различного функционального назначения и различной физической природы;
- устройства питания.

Применяющиеся для автоматизации производства датчики производственных параметров, обладающие электрическим выходом, можно подразделить на две группы:

- параметрические;
- генераторные.

Параметрические датчики изменяют в ответ на изменение измеряемого производственного параметра какой-либо свой параметр.

Чаще всего этим изменяемым параметром датчика является омическое сопротивление его чувствительного элемента. Питание такого параметрического датчика осуществляется от внешнего источника энергии, и величина подводимой энергии во всем диапазоне измерений остается неизменной.

Характерным примером такого рода датчика может служить термометр сопротивления.

Генераторные датчики выдают на выход измерительный сигнал за счет собственной внутренней энергии и не нуждаются в каких-либо внешних источниках. Характерным примером такого рода датчика может служить датчик скорости вращения типа тахогенератора.

Развиваемая тахогенератором ЭДС может быть пропорциональной скорости вращения его ротора.

По принципу измерений устройства получения информации, используемые для автоматизации производственных процессов, подразделяются на измерительные системы с абсолютным отсчетом и измерительные системы с циклическими датчиками.

В измерительных системах с абсолютным отсчетом для каждого разряда измерения используется свой дат-

чик, цена деления выходного сигнала которого соответствует данному разряду.

Измерительные системы с циклическими датчиками содержат один датчик точного отсчета, соответствующий младшему разряду измеряемой величины, а показания в более старших разрядах формируются путем подсчета числа циклов этого датчика.

Примерами обоих типов измерительных систем могут служить датчики координатных перемещений в станках с ЧПУ.

Измерительные системы с абсолютным отсчетом устойчивы к сбоям в работе и к перерывам в питании, они могут работать при более высоких скоростях изменения измеряемого параметра.

Измерительные системы с циклическими датчиками конструктивно более просты, но предъявляют более высокие требования к быстрдействию считывания и переработки измерительной информации, менее устойчивы к сбоям и перерывам в работе и питании, а также обладают свойством сохранять и накапливать ошибки отсчета.

Другие названные выше компоненты систем автоматизации производства служат для различного преобразования полученной информации и формирования на этой основе управляющих воздействий, поступающих на исполнительные устройства.

Исполнительные устройства являются последним звеном в системах управления и через согласующие механизмы воздействуют на режим функционирования управляемого объекта.

В зависимости от характера движения рабочего органа исполнительные устройства подразделяются на три группы:

- исполнительные устройства с линейным движением;
- исполнительные устройства с поворотным движением (т. е. с вращением в пределах одного оборота выходного вала);
- исполнительные устройства с вращательным движением (т. е. с вращением, превышающим один оборот выходного вала).

По виду используемой энергии исполнительные устройства подразделяются на электрические, гидравлические и пневматические.

К электрическим исполнительным устройствам относятся различного рода электродвигатели, электромагнитные муфты, втяжные и поворотные электромагниты, электромагнитные реле, электромагнитные контакторы и др.

Гидравлические исполнительные устройства включают в себя различного рода силовые цилиндры, поршневые двигатели, шестеренные двигатели, лопастные двигатели, управляемые клапаны и регуляторы и др.

Пневматические исполнительные устройства также включают в себя различного рода силовые цилиндры, поршневые и лопастные двигатели, управляемые клапаны, а

также диафрагменные приводы (главным образом, для задач зажима) и др.

Снижения вспомогательного и подготовительно-заключительного времени в современном машиностроительном производстве можно достигнуть (при прочих равных условиях) лишь путем повышения уровня автоматизации всех этапов производственного цикла.

Для решения поставленной таким образом задачи необходимо иметь определенную информацию, будь то данные, считанные с чертежа, или замеренные параметры детали или соответствующего производственного процесса.

ДАТЧИКИ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1. Общие характеристики датчиков производственных параметров

Измерения технически осуществляются при помощи *измерительных преобразователей*, использующих те или иные физические принципы. На объект измерения обычно устанавливается датчик, который состоит из одного или нескольких измерительных преобразователей.

Датчик — это устройство, воспринимающее измеряемый параметр и вырабатывающее соответствующий сигнал в целях передачи его для дальнейшего использования или регистрации. Часто в технической литературе понятия датчиков (*pick up*) и измерительных преобразователей (*sensor*) между собой не разделяют и измерительные преобразователи называют просто датчиками. Хотя с функциональной точки зрения понятия измерительного преобразователя и датчика совпадают, но в конструкторской практике под датчиком следует понимать первичный измерительный преобразователь, заключенный в корпус и снабженный устройствами для его установки и фиксации на объекте, а также кабелем для передачи сигнала и соответствующими разъемами.

Таким образом, измерительное преобразование представляет собой отражение одной физической величины с помощью другой физической величины или набора таких физических величин. Выполняющий измерительное преобразование датчик работает в реальных производственных условиях эксплуатации, зачастую весьма тяжелых, связанных с высокими давлениями и температурами при влиянии агрессивных сред. На датчик одновременно воздействует большое число параметров. Среди этих параметров только один является измеряемой величиной, а все остальные представляют собой внешние параметры, характеризующие производственную среду. Эти внешние параметры являются в данном случае помехами. Каждый датчик должен на фоне помех наилучшим образом реагировать на измеряемую *входную* величину, вырабатывая соответствующую *выходную* величину или *код* выходной величины.

При построении датчиков используются различные физические принципы, которые в значительной степени определяют области рационального применения того или иного датчика.

П а р а м е т р и ч е с к и й датчик изменяет какой-либо из своих параметров под воздействием самой измеряемой величины и требует подключения к какому-либо внешнему источнику энергии.

Г е н е р а т о р н ы й датчик сам генерирует выходной сигнал и не требует подключения к внешнему источнику энергии. В качестве примеров датчиков такого рода можно назвать различные пьезоэлектрические датчики давления или тахогенераторные датчики скорости вращения.

К параметрическим датчикам относятся:

- резистивные;
- индуктивные;
- трансформаторные;
- емкостные.

К генераторным датчикам относятся:

- термоэлектрические;
- индукционные;
- пьезоэлектрические;
- фотоэлектрические.

Применительно к датчикам используются следующие основные определения и термины.

Функция преобразования измерительного преобразователя — это зависимость выходной величины данного измерительного преобразователя от входной, задаваемая либо аналитическим выражением, либо графиком, либо таблицей.

Чувствительность преобразователя — это именованная величина, показывающая, насколько изменится выходная величина при изменении входной величины на одну единицу. Для термомпары единицей чувствительности будет мВ/К (милливольты на 1 градус Кельвина), для регулируемого электродвигателя — (с⁻¹)/В (обороты в секунду на 1 вольт) и т.д.

Разрешающая способность преобразования — это наименьшее изменение входного сигнала, которое может быть измерено преобразователем.

Воспроизводимость является мерой того, насколько близки друг к другу результаты измерений одной и той же физической величины.

Прецизионность является мерой того, насколько близки друг к другу результаты аналогичных измерений.

Точность (погрешность) измерения показывает, насколько показанное датчиком значение параметра близко к его истинному значению. Обычно точность задается в процентах от *полной* шкалы измерительного прибора и в результате представляет собой некоторую абсолютную величину.

Если прибор используется не по назначению, то возникают ошибки применения.

В большинстве случаев при измерении механических величин, нагрузка воспринимается не самим преобразователем, а упругим элементом, который под воздействием измеряемой величины деформируется. Входной величиной в таком случае может быть сосредоточенная сила, крутящий момент, давление газа или жидкости и пр. Выходным сигналом может быть как непосредственно воспринимаемая человеком информация, так и электрический параметр.

Различают *статическую* и *динамическую* характеристики датчика.

Под статической характеристикой датчика понимают зависимость между установившимися значениями входной и выходной величин.

Под динамической характеристикой датчика понимают поведение выходной величины во время переходного процесса в ответ на мгновенное (ступенчатое) изменение измеряемой входной величины.

Если в статической характеристике датчика строится зависимость только между значением выходной величины Y в ответ на изменение входной величины X , то в динамической характеристике датчика участвует параметр времени t и такая характеристика представляет собой зависимость вида $Y = Y(t)$.

Очевидно, что установившееся значение выходной величины датчика представляет собой то значение, которое приобретает его выходная величина после окончания всех переходных процессов, т. е. при $t \rightarrow \infty$.

Зависимость между установившимися значениями входной и выходной величин применительно к датчикам называется *тарировочной кривой*.

Различные виды статических характеристик измерительных датчиков с пропорциональным выходом приведены на рис. 1.1.

На рис. 1.1, *а* приведена идеализированная статическая характеристика такого датчика. Нулевому значению входной величины в этом случае соответствует нулевое значение величины на выходе.

На рис. 1.1, *б* приведена идеализированная статическая характеристика датчика с зоной нечувствительности. У такого датчика изменение входной величины до значения ΔX , называемого *порогом чувствительности*, не ведет к появлению какого-либо сигнала на выходе. Лишь после того как окажется, что $X \geq \Delta X$, выходная величина будет расти, начиная от нуля, пропорционально изменению входной величины.

На рис. 1.1, *в* приведена идеализированная статическая характеристика датчика с зоной нечувствительности и насыщением

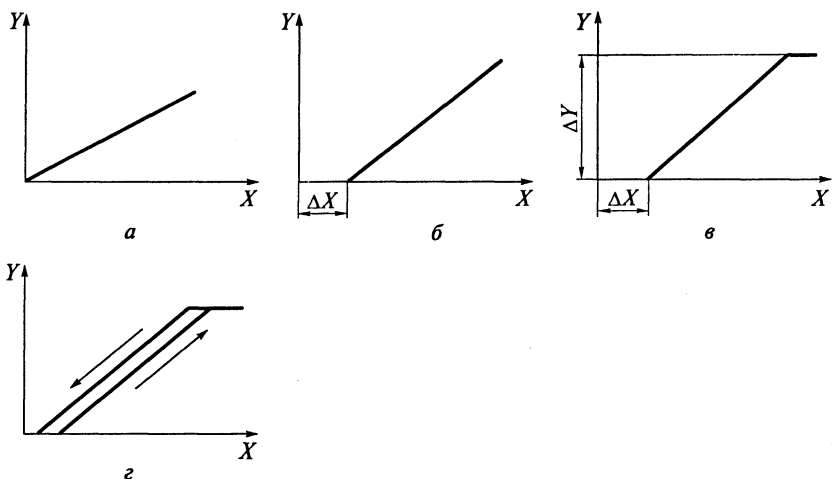


Рис. 1.1. Статические характеристики датчиков с пропорциональным выходом:

a — идеализированная статическая характеристика; *б* — идеализированная статическая характеристика с зоной нечувствительности; *в* — идеализированная статическая характеристика с зоной нечувствительности и насыщением; *г* — идеализированная статическая характеристика с зоной нечувствительности, насыщением и гистерезисом

выхода. У такого датчика, после достижения порога чувствительности выходная величина растет пропорционально росту входной величины, но до некоторого предельного значения ΔY , которое называется значением насыщения выходной величины. После того как окажется, что $Y \geq \Delta Y$, дальнейший рост входной величины X не приводит ни к какому росту Y .

Наконец, на рис. 1.1, *г* приведена идеализированная статическая характеристика датчика с зоной нечувствительности на входе, с насыщением на выходе и с петлей гистерезиса. Гистерезисом называется различие между характером соответствия выходной и входной величин при прямом и обратном ходе изменения входной величины. Практически это выражается в том, что значение выходной величины при возрастании входной величины не совпадает с ее же значениями при убывании входной величины, а следовательно, при наличии гистерезиса чувствительность датчика при «прямом» и «обратном» ходах неодинакова. Заметим, что значение выходной величины при возрастании входной величины может как «опережать», так и «отставать» по сравнению с ее же значениями при убывании входной величины. В первом случае говорят о положительном гистерезисе, а во втором — об отрицательном. Абсолютная величина разницы в значениях X при возрастании и убывании входной величины, при которых на вы-

ходе имеет место одно и тоже значение, называется *шириной петли гистерезиса*. Если ширина петли гистерезиса настолько велика, что тарировочная кривая датчика заходит в область отрицательных значений входной величины, то это означает, что $Y = 0$ при $X < 0$, а при $X = 0$ имеет место $Y > 0$. В таком случае говорят, что данный элемент обладает «памятью», так как на его выходе остается ненулевое значение и после того, как на его входе установится нулевое значение. Но это будет иметь место лишь в том случае, если перед этим величина на входе осуществила цикл возрастания с последующим убыванием хотя бы до нуля. Если же такого цикла на входе не происходило, то на выходе датчика будет продолжать сохраняться нулевое значение. Иными словами, наблюдая за состоянием выхода датчика в данный момент, можно сделать заключение о том, что происходило на его входе в предыдущие моменты. Это и есть то, что принято называть «памятью».

Однако в реальной жизни практически не существует датчиков с идеализированной пропорциональной (линейной) зависимостью между значениями выходной и входной величин. Это значит, что приращение выходной величины в ответ на единичное приращение входной величины не является постоянным во всем интервале изменения измеряемой величины. Может создаться такая ситуация, когда в начале изменения входной величины произошедшие в ней изменения будут приводить к существенным изменениям выходной величины, а в конце изменения входной величины произошедшие в ней изменения будут приводить к малым изменениям выходной величины. Может иметь место и обратная картина. В ряде случаев для удобства дальнейшего анализа фактическая нелинейная статическая характеристика датчика в определенных пределах измерения и с определенным влиянием на показания этого датчика может быть приближенно заменена неким линейным эквивалентом. В определенных условиях такая операция является допустимой и тогда она носит название *линеаризации*.

В ряде случаев нелинейный характер статической характеристики датчика не является вредным, а может быть эффективно использован для различных задач автоматизации. Примером такого рода, широко используемым в различных устройствах автоматизации, является датчик со статической характеристикой *релейного* типа. При возрастании входной величины, до того как она достигнет порога срабатывания, на выходе датчика будет наблюдаться нулевое значение выходной величины, а как только входная величина достигнет порога срабатывания, выходная величина сразу же («щелчком») достигнет своей максимальной величины и при дальнейшем возрастании входной величины возрастать больше не будет. Примером такого рода может служить так назы-

ваемое двухпозиционное регулирование температуры в обычном домашнем холодильнике. Как только температура внутри холодильника достигнет заданной величины, датчик температуры, называемый термостатом и обладающий релейной характеристикой, включит электромотор, прокачивающий хладагент (фреон). При понижении температуры электромотор отключается и температура внутри холодильника перестает понижаться.

Ранее рассматривались статические характеристики таких датчиков, у которых входная величина, возрастая и убывая, оставалась тем не менее большей нуля. Как правило, это и имеет фактически место при изменениях параметров технологических процессов производства деталей машиностроения. Например, это характерно при измерении перемещений рабочих органов станков, давления в гидросистемах или температуры в закалочных печах. Однако в ряде случаев, например при измерении фактических отклонений размера детали от номинала, возможно отклонение измеряемой величины как в положительную, так и в отрицательную сторону. Выходная величина при этом может оказываться пропорциональной модулю изменения входной величины (или же зависящей от него нелинейно) как без гистерезиса, так и с гистерезисом.

Обычно для сравнения при равных условиях динамических характеристик различных датчиков считают, что на их входы поступают воздействия одного и того же вида, а именно: ступенчатые. Это означает мгновенный «наброс» входной величины. Практически это соответствует, например, включению напряжения на электродвигатель либо помещению термопары в закалочную печь и т. д.

Двигатель будет набирать обороты не мгновенно, а в соответствии с динамическими свойствами привода, в который он включен. Показания термопары также начнут отражать температуру в печи не мгновенно, а по мере разогрева спая этой термопары и т. д.

Для динамических характеристик датчиков характерны три случая.

Первый случай соответствует *чистому запаздыванию* в датчике, когда его выходная величина просто повторяет (в определенном масштабе) входную величину, запаздывая по отношению к ней на постоянную величину.

Второй случай соответствует *апериодическому характеру* переходного процесса, когда выходная величина постепенно приближается к новому установившемуся значению монотонным образом (монотонно убывая или же монотонно возрастая).

Третий случай соответствует *колебательному характеру* переходного процесса, когда выходная величина постепенно приближается к новому установившемуся значению, совершая за время

переходного процесса одно или несколько колебаний, превышая на время новое значение выходной величины, а затем возвращаясь к нему.

Динамические процессы в датчиках характеризуются *показателями качества переходного процесса*.

К их числу относятся:

- время завершения переходного процесса;
- величина превышения в течение переходного процесса выходного параметра над его новым установившимся значением;
- число колебаний выходной величины за время завершения переходного процесса.

Используется также *интегральный показатель качества переходного процесса*, обычно представляющий собой подынтегральную площадь кривой переходного процесса.

Для датчиков производственных параметров важными характеристиками являются также *диапазон измерений*, представляющий собой разность между допустимыми максимальным и минимальным установившимися значениями измеряемой величины, а также *полоса пропускания*, представляющая собой разность между максимальной и минимальной частотами изменения входной величины, для работы с которыми предназначен данный датчик.

Что касается погрешностей измерений производственных параметров, неизбежно возникающих в любых практических системах автоматизации, то их принято классифицировать следующим образом:

- систематические;
- прогрессирующие;
- случайные;
- погрешности применения.

1.2. Основные виды типовых воздействий на датчики производственных параметров

Для получения статических и динамических характеристик датчиков параметров на входы этих датчиков подают типовые воздействия и наблюдают, как испытуемый датчик реагирует на подаваемое воздействие.

К числу таких типовых входных воздействий относятся:

- ударное, или мгновенное;
- ступенчатое;
- линейное;
- гармоническое.

Ударное (входное) воздействие в случае, когда измеряемым параметром является та или иная сила, может быть действительно интерпретировано как удар. Ударное воздействие, называемое также

δ -функцией, представляет собой «пиковое» воздействие, которое в пределе имеет бесконечно большую (стремящуюся к ∞) ординату при бесконечно малой (стремящейся к 0) ширине Δt (длительности этого воздействия). График такого типового входного воздействия, прилагаемого к датчику в момент времени t^* , приведен на рис. 1.2, а.

Ступенчатое входное воздействие — это мгновенное изменение входного параметра на конечную величину. Записывается оно обычно в виде $X = A[1]$. Это трактуется таким образом, что при $t < 0$ имеет место $X = 0$, а при $t \geq 0$ имеет место $X = A$. Ступенчатое воздействие, при котором величина скачка на входе датчика равна 100 % всей измеряемой величины, называется *единичным воздействием*. График воздействия такого рода показан на рис. 1.2, б.

Примером ступенчатого воздействия может служить замыкание или размыкание цепи постоянного тока, приложение или сброс нагрузки с помощью механизма сцепления или управляемой муфты и др. Ступенчатое воздействие является настолько распространенным и важным в производственной практике, что выходная реакция на воздействие такого рода выделяется среди прочих динамических характеристик и носит специальное название *временной характеристики*.

График ступенчатого входного воздействия, приведенный на рис. 1.2, б, является идеализированным, поскольку он предполагает «мгновенное» (т. е. за отрезок времени, равный 0) нарастание входной величины от 0 до A . На самом деле такое «мгновенное» нарастание входной величины невозможно и произойдет за отрезок времени $\Delta t \neq 0$. На этом отрезке времени входную величину можно считать нарастающей по линейному закону, что также является идеализацией, а в общем случае такое нарастание входной величины датчика реально должно происходить по тому или иному нелинейному закону.

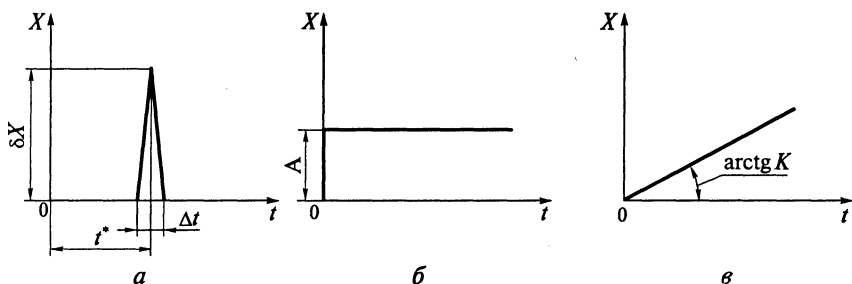


Рис. 1.2. Графики ударного, ступенчатого и линейного входных воздействий:

а — ударного входного воздействия; б — ступенчатого входного воздействия; в — линейного входного воздействия

Линейное входное воздействие на датчик подразумевает изменение во времени входной величины по линейному (пропорциональному) закону. В этом случае $X = Kt$, где K — константа. Такой вид типового воздействия широко применяется при испытаниях следящих систем, а именно таких систем, когда выходной параметр системы должен воспроизводить в том или ином масштабе некоторую задающую величину, характер изменений которой заранее не определен. Примером такого рода является пневмогидравлическая система усиления мощности для рулевого управления тяжелых грузовиков, автобусов, а также высококлассных легковых автомобилей. Здесь угол поворота направляющих колес автомобиля должен «отслеживать» поворот рулевой «баранки», совершаемый водителем без особого усилия. Другим примером такого рода является следящая система гидрокопировального автомата, где перемещение силового поперечного суппорта должно «отслеживать» перемещение задающего копировального шупа, взаимодействующего без особой нагрузки с шаблоном, изготовленным из легкообрабатываемого материала, например из алюминия. График линейного входного воздействия изображен на рис. 1.2, в.

Гармоническое входное воздействие — это такое воздействие, при котором входная величина изменяется по гармоническому закону, т. е. по закону синуса или косинуса. Такое воздействие применяется тогда, когда производится испытание изделия или его компонента с помощью *частотных методов*. Примером такого рода является исследование подвески автомобиля на вибростенде. Существо таких испытаний заключается в том, что исследуемую подвеску «трясут» с изменяющимися частотой и амплитудой и смотрят, что при этом происходит. Целью исследования изделия или его компонентов частотными методами является получение частотных характеристик данного изделия или компонента.

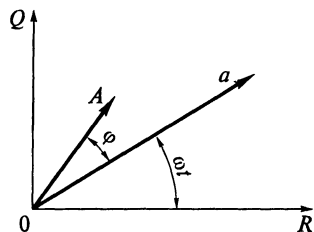
Частотными характеристиками называются зависимости, связывающие в установившемся режиме входные и выходные величины линейной системы, когда подаваемые на ее вход величины изменяются во времени по гармоническому закону. Обратим внимание на то, что установившийся режим вовсе не означает неподвижности. Это означает лишь то, что по истечении времени переходного периода в системе установится движение с неизменяющимися параметрами.

В частности, если на вход такого компонента системы подается гармоническое воздействие вида

$$X(t) = a \sin \omega t$$

с частотой ω и амплитудой a , то через некоторое время, необходимое для завершения переходного процесса, на выходе этого компонента также установятся синусоидальные колебания с той же частотой, но отличные по амплитуде и сдвинутые по отноше-

Рис. 1.3. Изображение гармонического воздействия на комплексной плоскости



нию к синусоидальному сигналу на входе данного компонента по фазе, что записывается следующим соотношением:

$$Y(t) = A \sin(\omega t + \varphi).$$

На комплексной плоскости входная $X(t)$ и выходная $Y(t)$ величины для каждого момента времени t изображаются векторами a и A , проведенными из начала координат под углами ωt и $(\omega t + \varphi)$. Действительные части гармонических входных и выходных величин, представленных в комплексной форме, равны соответственно $a \cos \omega t$ и $A \cos(\omega t + \varphi)$, а мнимые части — $a \sin \omega t$ и $A \sin(\omega t + \varphi)$. Графическое изображение гармонического воздействия представлено на рис. 1.3. Вертикальная ось координат соответствует мнимым частям входной и выходной величин, а горизонтальная ось — их действительным частям.

Обозначив $Y(t)/X(t) = W(j\omega)$, получим

$$W(j\omega) = [A e^{j(\omega t + \varphi)}] / [a e^{j\omega t}] = (A/a) e^{j\varphi}.$$

Отношение $W(j\omega)$ называется *комплексным передаточным коэффициентом*.

На комплексной плоскости этот коэффициент графически изображается в виде точки. При изменении частоты воздействия ω от 0 до ∞ изменяются и значения модуля выходной величины (длина отрезка от начала координат до данной точки), и сдвиг ее фазы φ относительно входного воздействия. Конец отрезка, находящийся в данной точке, будет при этом описывать некоторую кривую, характерную для данного датчика, называемую *годографом*.

Этот годограф называется *амплитудно-фазовой характеристикой (АФХ)* данного датчика.

Зависимость модуля комплексного передаточного коэффициента W от частоты ω называется *амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ)* данного датчика.

Зависимость сдвига фазы φ от частоты ω называют *фазово-частотной характеристикой (ФЧХ)* данного датчика.

Амплитудно-фазовая характеристика и вытекающие из нее АЧХ и ФЧХ относятся только к установившимся режимам.

Для построения промышленных датчиков производственной информации используются различные физические эффекты. Основные типы промышленных датчиков классифицируются с точки зрения используемых в них физических явлений.

1.3. Электроконтактные датчики

Электроконтактные датчики строятся на основе преобразователей, которые преобразуют механическое перемещение в замкнутое или разомкнутое состояние контактов, управляющих электрической цепью.

Существует большое число конструкций электроконтактных преобразователей различного назначения. Так, достаточно широкое применение нашел двухконтактный преобразователь.

В двухконтактном преобразователе шток с измерительным наконечником (обычно твердосплавным) прижимается создающей измерительное усилие пружиной к контролируемой поверхности измеряемой детали. Если осуществляется активный контроль, то шток преобразователя может прижиматься к той или иной промежуточной детали. Перемещающийся шток преобразователя обычно кинематически связан с поворачивающейся деталью, называемой коромыслом, на концах которого устанавливаются два контакта, предназначенные для замыкания и размыкания соответствующих электрических цепей. Положение этих контактов может регулироваться при настройке преобразователя (с помощью резьбовых настроечных головок).

В начале обработки детали, когда ее размер наибольший, измерительный шток контрольного устройства находится в крайнем положении. Первая пара из заранее настроенных контактов замкнута. По мере уменьшения контролируемого размера обрабатываемой детали измерительный шток преобразователя перемещается и коромысло начинает поворачиваться. Первая пара контактов размыкается, вследствие чего формируется и подается команда на изменение режима работы, например на переход от черновой к чистовой обработке. При дальнейшем снятии припуска измерительный шток продолжает перемещаться, а коромысло поворачиваться, пока вторая пара заранее настроенных контактов не замкнется. Это значит, что заданный размер достигнут, и дальнейшая обработка прекращается.

Для контроля и многодиапазонной сортировки деталей на размерные группы необходимо использовать многоконтактные преобразователи. Принципиальная схема такого преобразователя представлена на рис. 1.4.

Здесь используется та же конструкция с той лишь разницей, что вместо одной пары контактов здесь устанавливается группа из

нескольких контактов, закрепленных на плоских пружинах. По мере перемещения измерительного штока *3* в направляющих *2* под воздействием нажимного устройства *4* последовательно замыкаются несколько пар контактов в контактной группе *5*, чем обеспечивается подача сигналов по мере достижения деталью *1* того или иного размера.

При построении и эксплуатации электроконтактных датчиков проблема заключается в уменьшении тока, протекающего через контакты. Эта проблема решается в электронных контактных реле. Принципиальная схема электронного контактного реле приведена на рис. 1.5.

На этой схеме *1* и *2* — резисторы, активные сопротивления, образуют входной делитель напряжений; *3* — обмотка электромагнитного контактного реле; *4* — транзистор. На эмиттер транзистора *4* через обмотку электромагнитного контактного реле *3* подводится постоянное напряжение $+E_k$, а к его коллектору подключено постоянное напряжение $-E_k$. При отсутствии или малом значении напряжения на входе ток базы транзистора *4* определяется напряжением смещения, создаваемым входным делителем на основе соотношения величин сопротивлений резисторов *1* и *2*. Коллекторный ток транзистора *4* в β раз (β — коэффициент усиления транзистора *4*) больше, чем ток его базы, но при этом не превышает тока срабатывания реле *3*. При небольшом изменении входного напряжения ток базы транзистора *4* увеличится, а ток кол-

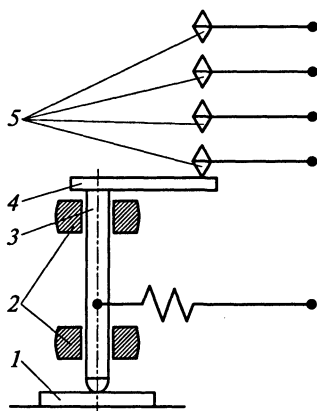


Рис. 1.4. Схема многоконтактного преобразователя:

1 — измеряемая деталь; *2* — направляющие; *3* — измерительный шток; *4* — нажимное устройство; *5* — многоконтактная группа

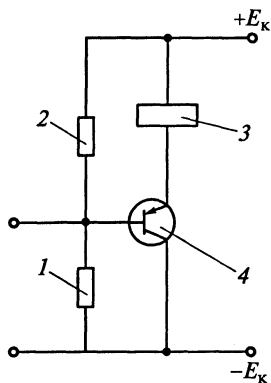


Рис. 1.5. Принципиальная схема электронного контактного реле:

1, *2* — входные резисторы; *3* — обмотка электромагнитного контактного реле; *4* — транзистор

лктора этого транзистора увеличится еще значительней и реле 3 сработает.

Изменять напряжение на базе транзистора и тем самым включать и выключать электромагнитное реле можно не только подачей напряжения на базу транзистора, но и изменением соотношения величин сопротивлений во входном делителе. Если резистор 2 в рассмотренной схеме заменить фоторезистором, получится то, что принято называть «фотореле». При подаче света на фоторезистор 2 реле 3 срабатывает.

Для бесконтактного точного измерения размеров, особенно в массовом производстве, характерном для автомобильной и ряда других отраслей механической обработки, часто применяются пневмоэлектроконтактные датчики. Принцип действия такого датчика основан на измерении сопротивления истечению воздуха через калиброванное сопло, находящееся на том или ином расстоянии от поверхности. Это расстояние и является контролируемой величиной, а само пневматическое сопротивление, образованное сочетанием калиброванного сопла с какой-либо поверхностью, в пневмоавтоматике принято называть элементом типа «сопло-заслонка». Незначительное изменение расстояния между калиброванным соплом и какой-либо поверхностью приводит (таково свойство элемента типа «сопло-заслонка») к существенному изменению пневматического сопротивления элемента типа «сопло-заслонка» и, следовательно, к повышению давления воздуха перед ним. Повышение давления воздуха следует преобразовать в перемещение какой-либо жесткой поверхности, причем значительно большее, чем исходное изменение расстояния между калиброванным соплом и поверхностью контролируемой детали. Это будет означать безлюфтовое и без использования подвижных частей «усиление» исходного механического перемещения. Преобразование изменения давления воздуха в перемещение жесткой поверхности (жесткого торца) осуществляется сильфоном. *Сильфон* — это замкнутый цилиндр с тонкими гофрированными стенками, обычно изготавливаемый из латунной фольги. При подаче в него давления воздуха сильфон «раздувается» и его торцы перемещаются друг относительно друга. Один из этих торцов может быть закреплен, а на втором устанавливается электрический контакт.

Конструктивная схема дифференциального сильфонного пневмоэлектроконтактного датчика приведена на рис. 1.6.

Контроль диаметра отверстия в обрабатываемой детали 5 осуществляется с помощью пневматического калибра-пробки 4. Сжатый воздух подается от компрессорной сети через фильтр и стабилизатор давления в полости левого 1 и правого 3 сильфонов. Давление стабилизированного и очищенного питающего воздуха индицируется с помощью стрелочного манометра. Одновременно

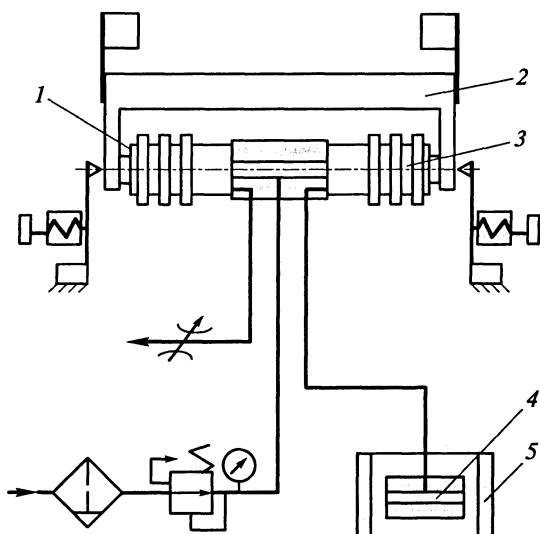


Рис. 1.6. Конструктивная схема пневмоэлектродатчика:
 1 — левый сильфон; 2 — подвижная рамка; 3 — правый сильфон; 4 — калибр-пробка; 5 — измеряемая деталь

очищенный и стабилизированный сжатый воздух поступает к калибру-пробке 4 и к регулируемому дросселю. Расход воздуха через дроссель при его определенной настройке будет постоянным, поэтому неизменным будет и давление в левом сильфоне 1. Расход воздуха через сопло калибра-пробки и соответственно давление в правом сильфоне 3 будут зависеть от фактической величины зазора между внутренней поверхностью контролируемого отверстия и калибром-пробкой 4, т. е. от фактического размера контролируемого отверстия.

Если размер отверстия находится в пределах допуска, то давление воздуха в правом и левом коленах датчика примерно одинаково и датчик не подает никаких команд.

Если диаметр отверстия меньше заданного, то зазор между калибром-пробкой 4 и отверстием сопла будет маленьким и давление в правом колене датчика возрастет. Тогда правый сильфон 3 растянется, а левый сильфон 1 сожмется. Рамка 2, подвешенная к корпусу датчика на плоских пружинах, сместится влево, что вызовет замыкание левого регулируемого контакта. От датчика тогда последует дискретный сигнал «Размер занижен».

Если же отверстие получилось больше заданного, давление в правом колене датчика станет меньше, чем в левом, левый сильфон 1 растянется, а правый сильфон 3 сожмется. Рамка 2, подвешенная к корпусу датчика на плоских пружинах, сместится впра-

во, что вызовет замыкание правого регулируемого контакта. От датчика тогда последует дискретный сигнал «Размер превышен».

К воздуху, питающему датчик, предъявляются определенные технические требования. Этот воздух должен быть очищен от механических примесей, а также от водяного и масляного конденсатов.

Давление питающего воздуха должно быть стабилизировано в определенных пределах. Поэтому обычно в заводской практике для питания измерительных пневмоэлектроконтактных датчиков не используется воздух от силовой компрессорной сети, а создается специальный источник.

1.4. Реостатные датчики

В практике автоматизации производственных процессов машиностроения широко применяются реостатные датчики. *Реостатными (потенциометрическими) датчиками* называются датчики, которые строятся на основе преобразователей, представляющих собой реостат, движок которого движется под действием измеряемой неэлектрической величины. Входной величиной является при этом механическое перемещение движка, а выходной величиной — изменение сопротивления.

В реостатных датчиках на каркас, выполненный из изоляционного материала, с равномерным шагом наматывается обладающая определенным сопротивлением проволока. Изоляция проволоки с одной стороны каркаса зачищается, и по зачищенному участку скользит токосъемная щетка. Вторая щетка скользит по токосъемному кольцу. Обе щетки изолируются от оси, на которой они установлены. Обычно в реостатных преобразователях используется намотанная проволока на основе сплавов платины, обладающих высокими коррозионной стойкостью и износостойкостью. Используются также такие сплавы как фехраль, манганин и константан. Минимальные габаритные размеры реостатных датчиков лежат в пределах 5 мм.

Выбирая форму каркаса, можно получить требуемую зависимость между механическим перемещением движка и выходным сопротивлением.

Несмотря на простоту и относительно большую распространенность реостатных датчиков они обладают определенными недостатками, главными из которых следует считать ограниченный срок службы (не превышающий одного миллиона циклов) и шумовой фон, возникающий вследствие механического перемещения контактных щеток.

На рис. 1.7, а приведена принципиальная схема реостатного датчика с каркасом постоянной высоты, а на рис. 1.7, б показана

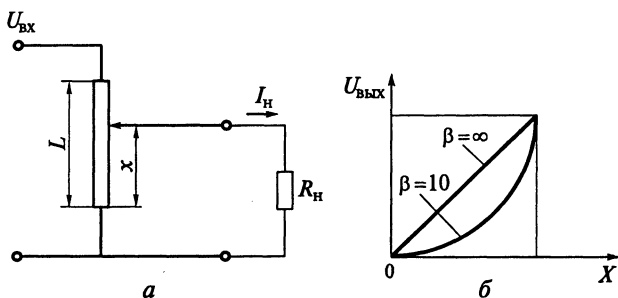


Рис. 1.7. Принципиальная схема и нагрузочная характеристика реостатного датчика:

а — принципиальная схема; *б* — нагрузочная характеристика

нагрузочная характеристика — зависимость его выходного напряжения от входного перемещения щетки-движка.

На рис. 1.7 $U_{\text{вх}}$ — запитывающее напряжение реостатного датчика; L — длина реостатного датчика; x — измеряемое перемещение; $U_{\text{вых}}$ — напряжение на выходе датчика; R_H — подключаемая нагрузка; β — коэффициент нагрузки, $\beta = R_H/R_{\text{п}}$ ($R_{\text{п}}$ — полное сопротивление датчика).

Естественно, что при бесконечно большой нагрузке (т.е. при полном разрыве выходной цепи) напряжение на выходе датчика оказывается прямо пропорциональным входному перемещению. При любой нагрузке, подключенной к реостатному датчику, его характеристика преобразования теряет свой линейный характер.

Можно также построить и реверсивный реостатный датчик, т.е. такой датчик, у которого изменение знака входного перемещения приводит к изменению знака напряжения на выходе датчика. Такие реостатные датчики строятся на основе потенциометров со средней точкой.

Датчиками, омическое сопротивление которых изменяется под действием силовых факторов, являются также электроконтактные датчики сопротивления. Принцип действия используемых для построения таких датчиков преобразователей основан на изменении под действием механического давления электрического сопротивления между проводящими элементами, разделенными слоями из плохо проводящего электричество материала. В качестве такого материала могут использоваться слои электропроводящей бумаги, электропроводящей резины или металлические пластины, на которые путем напыления нанесен высокоомный резистивный слой.

Такие преобразователи используются, например, в тактильных датчиках роботов и манипуляторов. Здесь давление порядка

100 кПа вызывает изменение сопротивления преобразователя со 100 Ом до 2 кОм.

Другим примером электроконтактного датчика сопротивления может служить обычный угольный микрофон, преобразующий колебания акустического давления в соответствующие колебания электрического сопротивления.

Для повышения чувствительности и исключения температурных погрешностей в схемах промышленной автоматики часто используется дифференциальный угольный датчик.

В таких датчиках между двумя проводящими, обычно металлическими, пластинами, которые служат для подсоединения к ним проводников, набирается столб из угольных пластин. Посередине этого столба между двумя соседними угольными пластинами устанавливается металлическая пластина, одна сторона которой соединена с проводником, а другая — с рычажной системой, к которой прилагается измеряемое усилие. Когда это усилие равняется нулю, сопротивления угольных пластин верхней и нижней половин угольного столба равны между собой. Если измеряемое усилие оказывается не равным нулю, то сопротивление одной половины угольного столба увеличивается, а сопротивление другой его половины уменьшается.

1.5. Тензорезисторные датчики

В основе работы *тензорезисторных датчиков* лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении сопротивления проводников и полупроводников при их механической деформации. Тензорезисторные датчики способны измерять деформации порядка одного микрона.

Тензорезисторные датчики бывают трех различных типов: проволочные, фольговые и полупроводниковые.

Проволочные тензодатчики могут быть ненаклеиваемыми и наклеиваемыми, а полупроводниковые — наклеиваемыми и диффузионными.

Ненаклеиваемый проволочный тензодатчик обычно состоит из четырех проволочных секций, намотанных на рамки. Рамки ориентируются таким образом, что усилия, перпендикулярные к их плоскостям, будут вызывать увеличение напряжения в двух секциях, в то же время уменьшая его в двух оставшихся секциях. Проволочные секции электрически соединяют между собой таким образом, чтобы они образовывали четыре плеча измерительного моста.

Ненаклеиваемые тензодатчики обладают меньшей чувствительностью, чем наклеиваемые, и имеют большие габаритные размеры. Они обычно используются в приборах, в которых представля-

ют собой конструктивную часть какого-либо другого устройства, например нагрузочного элемента или же акселерометра.

Для наклеиваемых проволочных тензорезисторных датчиков характерна следующая конструкция. На держатель — полоску тонкой бумаги или лаковую пленку — наклеивается решетка из зигзагообразно уложенной тонкой проволоки диаметром 0,02... 0,05 мм. К концам проволоки присоединяются выводные медные проводники. Сверху тензорезистор покрывается слоем лака. Такой тензорезистор, наклеенный на испытываемую деталь, воспринимает деформации ее поверхностного слоя.

Конструкция чувствительного элемента тензорезисторного датчика может быть *многослойной* или же *планарной*.

Чувствительные элементы фольговых тензорезисторных датчиков обычно получают травлением из фольги толщиной 4... 12 мкм. С помощью такой технологии удастся получить тензопреобразователи с меньшими габаритными размерами, чем проволочные. Известны фольговые тензорезисторы с базой 0,8 мм.

Фольговые тензорезисторы можно также получить методом вакуумной возгонки тензочувствительного материала с последующим его осаждением на основу (подложку). В этом случае форма тензорезистора определяется маской, через которую производится напыление. Пленочные тензорезисторы имеют толщину менее 1 мкм.

На рис. 1.8 представлены примеры конструктивных схем проволочных и фольговых тензорезисторных чувствительных элементов датчиков. На рис. 1.8, *а* показана схема проволочного тензорезисторного чувствительного элемента, а на рис. 1.8, *б* — схема фольгового тензорезисторного чувствительного элемента.

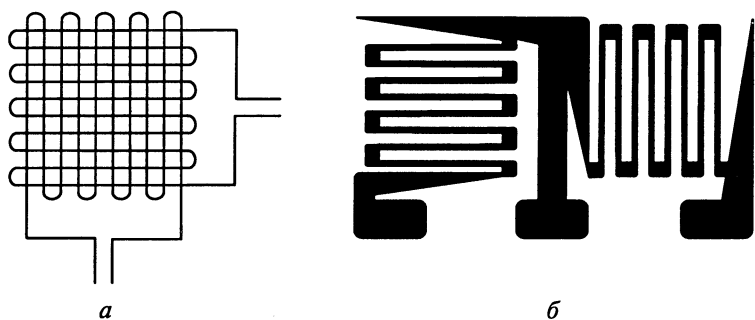


Рис. 1.8. Схемы проволочного и фольгового тензорезисторных чувствительных элементов:

а — схема проволочного тензорезисторного чувствительного элемента; *б* — схема фольгового тензорезисторного чувствительного элемента

Чувствительные элементы полупроводниковых тензорезисторных датчиков изготавливают из кремниевых кристаллов.

Наклеиваемый полупроводниковый датчик по конструкции подобен наклеиваемому металлическому тензодатчику, но дает на выходе большее по сравнению с ним напряжение.

Диффузный полупроводниковый датчик изготавливается путем диффузии материала датчика в поверхность диафрагмы, которая представляет собой тонкий срез монокристалла кремния. Он имеет более высокую линейность и меньший гистерезис, чем полупроводниковые датчики наклеиваемого типа, но уровень выходного сигнала у него по сравнению с ними ниже.

Для изготовления тензочувствительных элементов датчиков используются металлы, обладающие высокой температурной стабильностью, т.е. низким температурным коэффициентом сопротивления, что особенно важно при измерении статических напряжений.

1.6. Пьезоэлектрические датчики

Механическое воздействие, приложенное определенным образом к пьезоэлектрическому кристаллу, порождает в нем электрическое напряжение, что называется *прямым пьезоэффектом*. И, наоборот, электрическое напряжение, приложенное к пьезоэлектрическому кристаллу, вызывает его механическую деформацию, что называется *обратным пьезоэффектом*.

Пьезоэффект обладает знакочувствительностью, т.е. происходит изменение знака возникающего электрического заряда при замене сжатия растяжением и соответственно изменение знака деформации кристалла при изменении направления электрического поля.

Пьезоэлектричество наблюдается как в монокристаллических материалах, например в кварце, турмалине, ниобате лития, сегнетовой соли и др., так и в поликристаллических материалах, например в титанате бария, титанате свинца, цирконате свинца и др. Поэтому кроме естественных кристаллов для получения пьезоэффекта используется также и пьезокерамика. Но в отличие от естественных кристаллов пьезокерамика вследствие хаотической ориентации ее электрических диполей сразу после изготовления не обладает пьезоэлектрическими свойствами. Для приобретения таких свойств ее подвергают так называемой «тренировке». Эта «тренировка» заключается в воздействии на пьезокерамический чувствительный элемент электрического поля в диапазоне от 10 до 30 кВ/см при температуре несколько ниже точки Кюри. После этого такой чувствительный элемент будет вести себя как моно-

кристалл. Преимущество пьезокерамики, заключающееся в том что из нее оказывается возможным изготавливать детали сложной конфигурации, отличающиеся высокой химической стойкостью, при этом сохраняется.

Однако керамический материал может и потерять свои пьезоэлектрические свойства, если он подвергается воздействию сильного переменного электрического поля или воздействию постоянного поля, противоположного первоначальному направлению поляризации, или если температура возрастает выше точки Кюри, или если измеряемое механическое воздействие превышает определенный уровень.

На рис. 1.9 показаны различные принципиальные схемы чувствительных элементов пьезоэлектрических датчиков.

На рис. 1.9, *а* изображен чувствительный элемент, в котором используется прямой пьезоэлектрический эффект. Такие элементы применяются в датчиках силы, давления и ускорения.

На рис. 1.9, *б* изображен чувствительный элемент, в котором используется обратный пьезоэлектрический эффект. Такие элементы применяются для излучения акустических, в том числе ультразвуковых колебаний, а также в пьезоэлектрических реле и в исполнительных элементах автоматических систем, перемещающих зеркала оптических приборов и т. д.

На рис. 1.9, *в* изображен преобразователь, в котором используются как прямой, так и обратный пьезоэлектрические эффекты. Это так называемые *пьезорезонаторы*, имеющие максимальный коэффициент преобразования на определенной резонансной частоте и резко уменьшающие этот коэффициент при отклонении от резонансной частоты. Такие пьезоэлектрические преобразователи применяются в качестве резонансных фильтров, пропускающих узкую полосу частот.

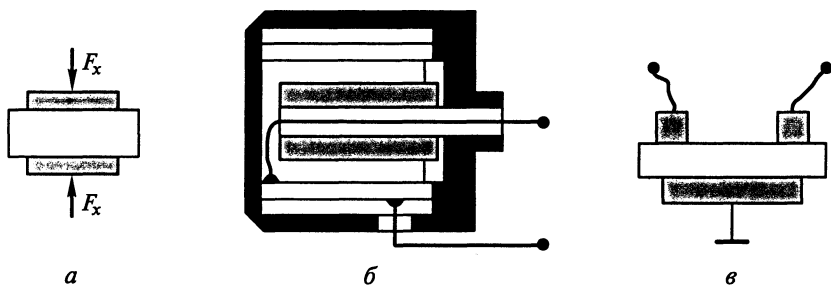


Рис. 1.9. Различные принципиальные схемы чувствительных элементов пьезоэлектрических датчиков:

а — использование прямого тензоэффекта; *б* — использование обратного тензоэффекта; *в* — использование как прямого, так и обратного тензоэффектов

Пьезорезонаторы, включенные в цепь положительной обратной связи усилителя, работают в режиме автоколебаний и используются в качестве задающего генератора колебаний. В зависимости от типа используемого кристалла и типа возбуждаемых колебаний пьезорезонаторы служат для выполнения двух различных функций:

- для обеспечения высокостабильной собственной частоты, не зависящей от внешних условий;
- генерации колебаний с управляемой собственной частотой (управляемые пьезорезонаторы).

Управляемые пьезорезонаторы могут быть использованы в частотно-цифровых приборах в качестве преобразователей различных неэлектрических величин, таких как давление, температура, ускорение, в частоту электрических колебаний.

Пьезоэлектрические чувствительные элементы являются основой для наиболее точных преобразователей, используемых для изготовления датчиков давлений, ускорений и сил.

В акселерометрах, работающих в условиях больших вибраций, особое значение имеет надежность крепления пьезочувствительных элементов к основанию прибора и инерционной массе. Обычно такое крепление осуществляется с помощью пайки. Высокие требования предъявляются также к кабелю, соединяющему датчик акселерометра с последующими элементами измерительной цепи (с усилителем).

Эти требования таковы:

- большое сопротивление изоляции и ее надежность;
- наличие экранирующей оплетки и малая емкость между проводящей жилой и экранирующей оплеткой;
- гибкость и антивибрационная стойкость.

Для обеспечения симметричности сопротивления связи пьезодатчик обычно выполняется из нечетного числа пластин. Для повышения чувствительности пьезодатчиков их обычно выполняют на основе батареи пьезоэлементов, соединяемых между собой при помощи металлических (фольговых) прокладок.

В пьезоэлектрических преобразователях используют также фольгированную с обеих сторон пьезоэлектрическую пленку. Такую пленку предварительно складывают «гармошкой», а после этого подвергают нагреву.

Увеличение чувствительности может быть достигнуто и за счет использования поперечного пьезоэффекта. Однако в этом случае тонкая пластинка, нагружаемая вдоль, может потерять устойчивость.

Для повышения устойчивости применяется жесткая «коробчатая» конструкция, состоящая из трех вертикальных пластин, у которых внутренние и внешние обкладки соединены между собой.

Высокой чувствительностью обладают пьезопреобразователи, работающие на изгиб. Пьезоэлемент, называемый в этом случае *биморфным*, состоит из двух пластин. При действии изгибающей силы верхняя пьезопластина испытывает растяжение, а нижняя — сжатие, в результате чего на этих пластинах появляются заряды противоположного знака. Благодаря металлическим накладкам и прокладкам соответствующие напряжения выводятся наружу преобразователя, а дальше могут соединяться в зависимости от направления в них положительных осей как параллельно, так и последовательно.

Вместо одной из пьезопластин может использоваться металлическая накладка существенной толщины. Толщина этой металлической пластины для предполагаемой нагрузки выбирается таким образом, чтобы вся пьезопластина оказывалась выше нейтральной линии. Для повышения чувствительности используются также пьезоэлементы, работающие на сдвиг.

1.7. Датчики производственных параметров на основе эффекта Холла

Эффект Холла применяется для измерения напряженности магнитного поля. Датчики, использующие эффект Холла, относятся к генераторным. Они сами вырабатывают электрическое напряжение, однозначно определяющее характеристики измеряемого магнитного поля. Эффект Холла имеет место у всех материалов, хотя и в разной степени. Практически же промышленные датчики такого рода реализуют на базе полупроводников.

Сущность эффекта Холла показана на рис. 1.10.

Если пластина полупроводника единичной толщины помещается в магнитное поле с напряженностью H , а вдоль нее течет ток величиной I и при этом вектор напряженности электрического поля составляет прямой угол с вектором напряженности магнитного поля, то на боковых гранях этой пластины возникает разность потенциалов U_0 , определяемая выражением:

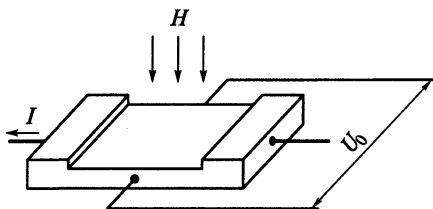


Рис. 1.10. Сущность эффекта Холла

$$U_0 = K_H I H,$$

где K_H — постоянная Холла, которая зависит от концентрации свободных носителей зарядов (электронов и ионов) в материале пластины.

Для того чтобы эффект Холла проявлялся в наибольшей степени, толщина пластины преобразователя должна быть наименьшей. В качестве полупроводниковых материалов для пластин датчиков, использующих эффект Холла, применяются обычно арсенид индия и фосфид-арсенид индия. Фосфид-арсенид индия используется при высоких температурах.

Существуют три способа изготовления полупроводниковых пластин датчиков, использующих эффект Холла.

1. Пластина полупроводника отрезается от исходного куска материала, а затем вытравливается до толщины 5... 100 мкм. После этого ее приклеивают к подложке эпоксидной или полиэфирной смолой, которые хорошо заполняют трещины и обеспечивают хороший теплоотвод.

2. Полупроводниковый материал из паров осаждается на подложку, образуя слой толщиной 2... 3 мкм.

3. Слой полупроводникового материала выращивается из газовой фазы на подложке, изготовляемой из полуизолятора, чаще всего из арсенида галлия. Преобразователи, полученные таким способом, имеют высокую стабильность и используются для прецизионных измерений.

Наиболее широко преобразователи, использующие эффект Холла, применяются для измерения параметров магнитных полей, а также для определения характеристик ферромагнитных материалов.

Эти преобразователи находят применение также и для измерения других физических величин, изменение которых легко преобразуется в изменение магнитной индукции. С помощью преобразователей, использующих эффект Холла, можно измерять угловые и линейные перемещения, электрические токи и др.

1.8. Емкостные преобразователи

Принцип работы *емкостных измерительных преобразователей* заключается в изменении электрической емкости под действием измеряемой физической величины.

Существуют различные принципиальные способы, по которым строятся емкостные измерительные преобразователи.

На рис. 1.11, *а* показано изменение электрической емкости путем изменения расстояния между пластинами конденсатора, а на рис. 1.11, *б* приведена статическая характеристика такого преобразо-

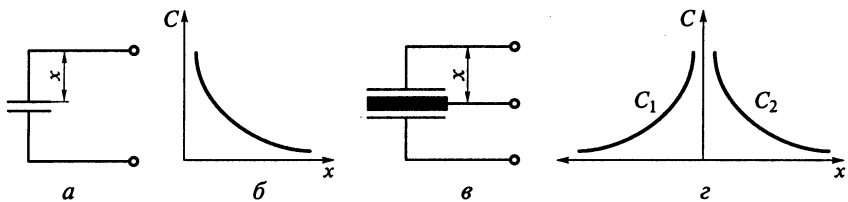


Рис. 1.11. Принцип работы и статические характеристики емкостных чувствительных элементов:

a — схема емкостного чувствительного элемента; *б* — его статическая характеристика с изменением расстояния между обкладками; *в* — схема дифференциального емкостного чувствительного элемента; *г* — его статическая характеристика с изменением расстояния между обкладками

вания. Эта характеристика представляет собой обратно пропорциональную (гиперболическую) зависимость.

На рис. 1.11, *в* показано дифференциальное изменение электрической емкости путем введения дополнительной металлической пластины между пластинами конденсатора, имеющей собственный электрический вывод, а на рис. 1.11, *г* приведена статическая характеристика такого преобразования, т. е. зависимости для C_1 и C_2 , где C_1 и C_2 — соответственно электрические емкости конденсаторов, лежащих выше и ниже средней металлической пластины. Наибольшая чувствительность емкостного преобразователя имеет место, когда его пластины максимально близки друг к другу. Однако принято считать, что расстояние между ними не может быть менее чем 100 мкм, поскольку в реальности пластины могут быть непараллельными и не плоскими и обладать излишней шероховатостью. Поэтому существует опасность их соприкосновения. В результате оказывается предпочтительным иметь большие по площади пластины даже с большим зазором между ними.

Для измерений смещений менее 1 мм применяются емкостные преобразователи с изменяющимся расстоянием между пластинами. Для измерения смещений, превышающих 1 мм, чаще всего используются преобразователи с изменяющейся площадью перекрытия пластин. В современных емкостных преобразователях обеспечивается возможность измерения перемещений порядка долей микрона.

Роль одной из пластин конденсатора может выполнять само изделие, перемещение которого подлежит измерению.

Емкостные преобразователи применяются главным образом в стационарных условиях для проведения стендовых исследований и для прецизионных измерений физических величин.

Эти датчики чувствительны к температурным колебаниями и изменению влажности. Они могут давать ошибочный или искаженный сигнал, если соединительные провода имеют большую длину и собственные емкость и индуктивность. Калибровка таких датчиков должна производиться вместе с кабелем.

Для подключения емкостных датчиков особенно важно использовать бифилярную обмотку, которая в общем случае представляет собой витки из уложенных рядом, но обеспечивающих противоположное направление протекания тока проводников. Такая обмотка обеспечивает не только электрический контакт, но и взаимное уничтожение полей, создаваемых противоположно протекающими токами: эти поля ведут к созданию реактивного сопротивления соединительных кабелей. Таким образом, можно считать, что бифилярная обмотка обладает чисто активным омическим сопротивлением.

Распространенным устройством, преобразующим акустические колебания окружающей воздушной среды в соответствующие электрические сигналы, является емкостный микрофон.

Емкостные датчики также используются и для измерения влажности. В этом случае датчик представляет собой конденсатор, состоящий из диэлектрической пленки, на обе стороны которой путем напыления наносятся электроды из золота. Емкость такого датчика оказывается примерно прямо пропорциональной влажности окружающей среды, а его постоянная времени составляет примерно 2 мин.

1.9. Оптоэлектронные преобразователи

Оптоэлектроника сочетает в себе оптические и электронные методы измерений. В настоящее время возрастает преобладание волоконно-оптических датчиков, которые обеспечивают стабильную работу в условиях сильных электромагнитных полей, а также в агрессивных и взрывоопасных средах. На основе оптоэлектронных преобразователей созданы датчики давления, силы, перемещения, скорости, акустических параметров, напряженности электрического и магнитного полей.

Известно, что видимый свет вместе с ультрафиолетовым (УФ) и инфракрасным (ИК) излучением составляет лишь небольшую часть всей полосы частот электромагнитного излучения, называемой областью *оптических* частот. Измерения в области оптических частот называются *радиометрией*. Радиометрия, использующая видимый свет, называется *фотометрией*.

Оптическое излучение представляет собой электромагнитные волны, находящиеся в диапазоне длин от 0,001 до 1 000 мкм. Этот диапазон длин волн, в свою очередь, разделен на три поддиапа-

зона: ультрафиолетовую область, область видимого света и область инфракрасного излучения.

Ультрафиолетовая область разделена на ближний ультрафиолет (длина волны равна 400...200 нм) и далекий (длина волны 200... 10 нм).

Область видимого спектра составляет диапазон длин волн от 370 до 770 нм и разделена на различные цвета.

Инфракрасное излучение лежит между областью видимого света и радиомикроволнами и, в свою очередь, разделено на три полосы, а именно на ближнее, среднее, далекое инфракрасные излучения.

Для описания оптических явлений используются три системы величин: энергетическая, световая и квантовая.

В энергетической системе поток измеряется в ваттах, а в световой — в люменах. В квантовой системе свет рассматривается как поток частиц — квантов.

Обычно световой поток состоит из излучений с различными частотами, но при создании оптических преобразователей желательно использовать световой поток, состоящий из излучения одной какой-либо частоты. Такой одночастотный поток называют *монохроматическим*.

Если волны отдельных излучений, из которых состоит поток, находятся в одной и той же фазе по отношению друг к другу, то такой поток называют *когерентным*.

Когда световой поток проходит через границу раздела двух сред, его направление меняется и происходит *преломление света*.

Когда свет падает на какую-либо поверхность, часть его преломляется, часть отражается, а часть проходит сквозь среду, раздел с которой образует рассматриваемая поверхность. Коэффициент отражения изменяется в зависимости от состояния и свойств этой поверхности и длины волны падающего света. Он колеблется от 98 для покрытой оксидом магния полированной поверхности до 1 % для поверхности, покрытой сажей.

В том случае, когда высота шероховатостей отражающей поверхности оказывается меньше длины волны падающего на нее света, происходит *зеркальное* отражение. Для зеркального отражения характерно отсутствие рассеяния света.

В тех случаях, когда при отражении света преобладает его рассеяние, имеет место *диффузное* отражение.

Скорость света в среде для излучений с различными длинами волн также будет различной. Это приводит к *дисперсии* света.

Коэффициент пропускания характеризует, какая доля светового потока, падающего на поверхность некоторой среды, проникает вглубь этой среды. В зависимости от свойств рассматриваемой среды и от длины световой волны этот коэффициент изменяется от 0 до 75 %.

В качестве источников света широко применяются обычные лампы накаливания с вольфрамовой нитью, которые имеют непрерывный спектр излучения, охватывающий видимую и инфракрасную области. Лампа накаливания характеризуется пространственным распределением света, близким к сферическому, и в большинстве случаев может рассматриваться как точечный источник. При повышении температуры нити накала длина волны излучаемого ею света уменьшается, а интенсивность излучения возрастает. Управляя напряжением и током, протекающим через нить накаливания, можно прокалибровать такую лампу.

Недостатком ламп накаливания является их малый коэффициент полезного действия: только 2% подводимой к ним электрической мощности преобразуется в видимое излучение.

Газоразрядные лампы представляют собой герметически закрытый кварцевый или стеклянный баллон с впаянными электродами, заполненный газом. В этом газе происходит электрический разряд, который сопровождается свечением. Газоразрядные лампы подразделяются на лампы непрерывного свечения и импульсного разряда. Недостатком газоразрядных ламп являются их сравнительно большие габаритные размеры и сложность схем питания.

В настоящее время все более широкое применение получают лазерные источники излучения. Лазеры бывают газовыми, твердотельными и полупроводниковыми. Наибольшее распространение получили именно газовые лазеры, характеризующиеся монохроматичностью и поляризованностью излучаемого ими когерентного света.

Устройство лазера, работающего на углекислом газе (CO_2), показано на рис. 1.12.

Газовый CO_2 -лазер состоит из охлаждаемой проточной водой разрядной трубки 4, внутри которой с помощью системы электродов 1 создается газоразрядная плазма 2. По торцам газоразрядной трубки размещаются зеркала резонатора: глухое зеркало 3 и полупрозрачное зеркало (зеркало с отверстием) 5.

В настоящее время наиболее распространенными источниками светового излучения, которые используются для автоматизации в

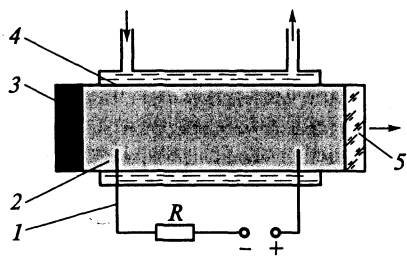


Рис. 1.12. Схема газового CO_2 -лазера с диффузионным охлаждением:

1 — система электродов; 2 — газоразрядная плазма; 3 — глухое зеркало; 4 — разрядная трубка, охлаждаемая проточной водой; 5 — полупрозрачное зеркало или зеркало с отверстием

машиностроении, являются светодиоды, принцип действия которых основан на генерировании светового излучения при рекомбинации электронов и дырок в полупроводниковом материале. Основные материалы, используемые для изготовления таких светодиодов — арсенид и фосфид галлия.

Для уменьшения потерь энергии на поверхности полупроводника выполняют полусферическое покрытие из материала, коэффициент преломления которого имеет промежуточное значение между коэффициентами преломления воздуха и кристалла. В такой конструкции лучи генерируемого света подходят к разделу полупроводник — воздух перпендикулярно, что снижает потери на внутреннее отражение.

Светодиоды изготавливаются путем формирования на поверхности исходной пластины полупроводникового материала слоя, структура которого является продолжением структуры подложки. К подобным структурам относятся структуры, которые дают красное, зеленое или желтое свечение. Основой химического состава таких структур являются различные соли мышьяковистой или фосфорной кислоты алюминия и галлия. Для изготовления вводных и выводных контактов светодиодов используются тонкопленочные металлические покрытия, например никель — золото — олово или никель — золото — цинк. Светодиоды могут иметь габаритные размеры порядка $0,5 \times 0,5 \times 0,3$ мм.

Приемники излучения, практически использующиеся для целей автоматизации в машиностроении, можно подразделить на две группы: интегральные и селективные.

К *интегральным* относятся приемники излучения, базирующиеся на преобразовании энергии излучения в температуру независимо от длины волны этого излучения.

К *селективным* относятся фотоэлектрические преобразователи, реагирующие на ту или иную определенную длину волны излучения.

Интегральный тепловой приемник представляет собой металлический диск, с которым контактирует термочувствительный элемент, измеряющий фактическую температуру этого диска. Рабочая поверхность указанного диска покрывается слоем черни, который поглощает почти все падающее на него излучение. Выходной электрический сигнал пропорционален мощности падающего на рабочую поверхность диска излучения и не зависит от спектрального состава этого излучения.

Существуют приемники излучения, выполненные в виде полоски из двух различных металлов, образующих термопару. Существуют также приемники излучения, выполненные в виде полоски или стержня из металла или полупроводника, который изменяет свое сопротивление в зависимости от температуры. В последнем случае такой преобразователь называется *болометром*.

Для уменьшения потерь тепла на *конвекцию* тепловой приемник может быть установлен в стеклянный баллон, из которого откачивается воздух. Это повышает точность преобразования, а чувствительность такого датчика возрастает в 10 и более раз. В баллоне предусматривается окно из кварца, прозрачного для ультрафиолетового и инфракрасного излучений.

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом — это вакуумные и газонаполненные конструкции. Вакуумные фотоэлементы представляют собой сферический стеклянный баллон, на внутреннюю поверхность которого нанесен слой фоточувствительного материала, образующего фотокатод. Анод обычно выполняют в виде кольца или сетки из никелевой проволоки. Преобразование светового потока в электрический ток происходит практически без задержки.

В фотоэлектронных умножителях (ФЭУ) первичный фототок усиливается за счет вторичной электронной эмиссии с промежуточных катодов, в которые ударяется поток электронов, усиленных электрическим полем, включенным между парами соседних катодов. Общий коэффициент усиления одного фотоумножителя может достигать сотен тысяч при практически безынерционном преобразовании. Поэтому фотоумножители используются для регистрации быстро протекающих процессов, когда требуется особо высокая чувствительность.

Газонаполненные фотоэлементы позволяют получать токи в несколько раз большие, чем вакуумные фотоэлементы. Обычно стеклянные баллоны таких фотоэлементов заполняются инертными газами.

При этом электроны, движущиеся к аноду, сталкиваются с молекулами газа и ионизируют их. В результате от катода к аноду начинает двигаться лавина электронов, а к катоду — лавина положительно заряженных ионов. Недостатком газонаполненных фотоэлементов является то, что максимальная амплитуда фототока достигается лишь спустя некоторый промежуток времени после начала освещения, поэтому такие элементы используются для регистрации световых потоков, изменяющихся с частотами не выше нескольких сотен герц.

Фоторезисторы представляют собой полупроводниковую пластинку с контактами, которая при освещении в результате внутреннего фотоэффекта уменьшает свое сопротивление. В качестве полупроводникового материала используют сернистый свинец, селенид кадмия, сернистый кадмий и др. Фоторезисторы имеют самые различные конструкции: они могут быть выполнены герметичными, с жесткими или с мягкими выводами, кольцевой формы и др.

Фоторезисторы могут применяться также и в преобразователях перемещений. В этом случае перемещение светового зонда воз-

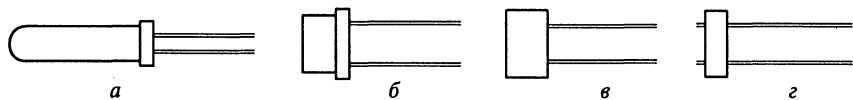


Рис. 1.13. Конструктивные схемы фоторезисторов:

а — фоторезистор в стеклянном корпусе; *б* — фоторезистор в металлическом корпусе; *в* — фоторезистор в пластмассовом корпусе; *г* — фоторезистор в планарном исполнении

можно в направлении как перпендикулярном, так и параллельном электродам.

Конструктивное исполнение фоторезисторов также может быть различным. Варианты конструктивных схем фоторезисторов показаны на рис. 1.13.

Фотодиоды и фототранзисторы относятся к полупроводниковым приемникам излучения. Фототранзистор представляет собой тот же фотодиод, снабженный усилителем фототока. Фотодиоды могут работать в двух режимах: фотогенераторном и фотодиодном.

В *фотогенераторном* режиме отсутствует источник внешнего напряжения. В *фотодиодном* режиме имеет место подключение внешнего напряжения. При отсутствии облучения под действием этого напряжения в измерительной цепи течет *темновой ток*, который обычно невелик. При освещении фотодиода ток в измерительной цепи увеличивается в зависимости от интенсивности облучения.

1.10. Электромагнитные преобразователи

Электромагнитные преобразователи строятся на основе одного или нескольких контуров, по которым могут протекать электрические токи, находящиеся в магнитном поле, создаваемом самими этими токами или каким-либо внешним источником.

Выходной величиной для таких преобразователей могут быть индуктивность, электромагнитная сила и индуцируемая в контуре ЭДС.

В зависимости от физических явлений, которые используются для их построения, они могут быть подразделены на следующие группы:

- преобразователи тока и напряжения;
- электромеханические преобразователи электрического тока в электромагнитную силу;
- магнитоупругие преобразователи, использующие изменение магнитной проницаемости ферромагнитных сердечников под воздействием механических напряжений;

- индукционные преобразователи, основанные на изменении электромагнитной индукции;
- индуктивные преобразователи, применяющиеся для измерения неэлектрических величин, которые влияют на изменение положения тех или иных элементов преобразователей;
- магнитомодуляционные преобразователи, использующие нелинейные свойства магнитных цепей.

Электроизмерительные приборы двух первых групп могут строиться также по электродинамическому и магнитоэлектрическому принципу.

Как в электродинамическом, так и в магнитоэлектрическом приборах чувствительным элементом подвижной части является рамка, состоящая из тонкого провода, способная вращаться в магнитном поле.

В электродинамическом приборе для создания такого магнитного поля используется неподвижная катушка. В магнитоэлектрическом приборе это магнитное поле создается постоянным магнитом.

Электромагнитный измерительный механизм имеет высокую надежность и технологичен в изготовлении. В его конструкции отсутствуют токоведущие элементы в подвижной части, что исключает необходимость обеспечения надежного токоподвода к ним. Для защиты такого механизма от влияния внешних магнитных полей он помещается в экранированный корпус.

Электродинамический измерительный механизм обладает сравнительно небольшим полезным вращающим моментом, и поэтому моменты сопротивления оказывают на него существенное влияние.

Для защиты от влияния внешних полей этот механизм также закрывают специальным экраном. Устройство такого типа характеризуется большими габаритными размерами и потребляет значительную мощность. Оно используется главным образом в лабораторных приборах переменного тока.

Магнитоэлектрический измерительный механизм обладает более высоким полезным моментом. Он не реагирует на внешние магнитные поля. Измерительный механизм такого типа обладает высокой точностью и имеет линейную зависимость между углом поворота на выходе и измеряемым током.

В настоящее время стремятся во всех электромеханических измерительных приборах использовать один тип механизма: магнитоэлектрический с преобразованием измеряемой величины в постоянный ток.

Для построения датчиков неэлектрических величин в машиностроении также используется физическое явление изменения магнитной проницаемости ферромагнитных тел под действием приложенной к ним механической нагрузки (растяжение, сжатие,

изгиб, кручение). На этом основано построение магнитоупругих преобразователей.

Обратным магнитной упругости является эффект *магнитострикции*, заключающийся в возникновении механических деформаций и напряжений в ферромагнитном материале при изменении в нем напряженности магнитного поля.

Магнитоупругие свойства проявляются также и при скручивании ферромагнитных тел. При пропускании тока через стержень, на который воздействует крутящий момент, в нем возникает дополнительный продольный магнитный поток, который наводит в обмотке, намотанной на стержень, ЭДС, пропорциональную этому крутящему моменту.

Магнитоупругие преобразователи используются для измерения сил, давлений, крутящих моментов. Они развивают достаточную мощность и могут быть включены в последующую цепь без промежуточного усиления сигнала. Такие преобразователи обладают высокой надежностью, так как не содержат подвижных частей. Они могут измерять как статические, так и динамические нагрузки.

Преобразователями магнитного поля являются также и датчики Виганда. Преобразователь, положенный в основу датчика такого типа, обычно представляет собой катушку с длиной намотки около 15 м с числом витков порядка 1300, намотанную из проволоки, изготовляемой из сплава «Викалой». Диаметр наматываемой проволоки обычно составляет 0,3 мм. Если расположить такую катушку в магнитном поле, то при изменении направления магнитного поля, в катушке возникает электрический импульс длительностью около 20 мс и с максимальным напряжением около 2,5 В. Такие датчики используются, например, для индикации положения зубчатых колес. Датчики Виганда работают в диапазоне температур от -196°C до $+175^{\circ}\text{C}$. Они не требуют внешнего источника питания, создают выходной сигнал порядка нескольких вольт и электробезопасны.

Принцип действия индуктивных преобразователей состоит в изменении их индуктивности при перемещении того или иного элемента их конструкции. В простейшем случае индуктивный преобразователь состоит из П- или Ш-образного сердечника с катушкой, питаемой переменным током, и из ферромагнитного якоря. Частота напряжения питания должна быть существенно больше частоты изменения измеряемого параметра. В качестве якоря может быть использован также и сам измеряемый объект, если он выполнен из ферромагнитного материала. Между торцами сердечника и якорем устанавливается определенная величина начального зазора δ_0 , которая изменяется при перемещении ферромагнитного якоря. При этом изменяется и магнитный поток, проходящий через катушку, намотанную на сердечнике.

Изменение воздушного зазора δ_0 приводит к изменению индуктивности α .

Для автоматизации в машиностроении применяются индуктивные преобразователи с *переменной величиной зазора*, используемые для измерения перемещений от долей микрона до нескольких миллиметров, индуктивные преобразователи с *переменной площадью зазора*, используемые для измерения перемещений, не превышающих 15... 20 мм, а также индуктивные преобразователи с *подвижным цилиндрическим сердечником* — индуктивные преобразователи соленоидного типа, используемые для измерения больших перемещений, достигающих 2 000 мм.

Применяются также индуктивные преобразователи *трансформаторного* типа. Такие преобразователи представляют собой устройства, в которых входное перемещение изменяет величину индуктивной трансформаторной взаимосвязи между двумя системами обмоток, из которых одна запитывается базовым переменным током, а с другой снимается выходной сигнал.

Положительным свойством индуктивных преобразователей является то, что они характеризуются большим по мощности выходным сигналом, так что они могут использоваться без усилителя.

Индуктивные преобразователи широко используются в устройствах активного контроля размеров обрабатываемой детали, особенно при чистовых методах обработки.

Датчики с индуктивными преобразователями часто используются для контроля прерывистых поверхностей, таких как шлицевые валы и втулки, валы со шпоночными пазами и др. Для предохранения измерительных наконечников от повреждений при их прохождении над местом, где поверхность прерывается, при их приближении к этой поверхности автоматически с помощью микропереключателя включается электромагнит, который отводит наконечники.

Электромагнит автоматически отключается, когда измерительные наконечники снова оказываются над гладкой поверхностью. Датчик в процессе работы подает сигналы в систему управления станка.

Индуктивные преобразователи также используются в механической обработке для построения в и б р о г е н е р а т о р н ы х д а т ч и к о в, которые часто применяются для автоматизации в машиностроении взамен контактных датчиков. Дело в том, что с точки зрения механической обработки контактные датчики имеют ряд эксплуатационных недостатков:

- при попадании под измерительный наконечник стружки или абразивной пыли точность измерения резко снижается;
- на точность измеряемых размеров оказывает влияние шероховатость поверхности детали;

- преобразователи контактного типа характеризуются длинной и подверженной помехам линией передачи информации до места, где эта информация используется.

В отличие от контактных датчиков виброгенераторные датчики обладают рядом положительных эксплуатационных свойств:

- измерительный наконечник касается детали только очень короткое время, и его износ практически отсутствует, что дает возможность контролировать размеры компонентов, обладающих высокими окружными скоростями, например, создается возможность контроля профиля и размеров вращающегося абразивного круга;

- передаточное отношение от датчика к регистрирующему прибору или к исполнительному механизму может быть задано в достаточно широких пределах;

- в процессе подвода щупа к обрабатываемой детали исключается опасность повреждения измерительного наконечника;

- датчик выдает усредненный результат измерений.

Датчики такого типа широко применяются в машиностроении для автоматического контроля на кругло- и внутришлифовальных станках, при тонком точении и при хонинговании.

Принцип действия вихретоковых преобразователей заключается в изменении индуктивности и взаимоиндуктивности катушек при приближении к ним проводящего тела. Следует учесть, что на интенсивность и характер распределения вихревых токов, возбуждаемых на поверхности объекта, кроме контролируемого зазора существенное влияние оказывают толщина токопроводящего слоя, магнитная проницаемость и удельная электрическая проводимость материала подводимого проводящего тела.

Подобные преобразователи используются для контроля линейных размеров и толщины тонких пластин и покрытий, а также для обнаружения внутренних дефектов и всякого рода трещин, отслоений, царапин и раковин.

Вихретоковые преобразователи используются также для измерения вибраций, для определения частоты, амплитуды и форм вибрации при динамических испытаниях различных изделий машиностроения. Обычно измеряемые амплитуды лежат в пределах 1...2 000 мкм при частотах 20...20 000 Гц. Этот же принцип используется для контроля вращающихся валов.

Стабильность работы вихретоковых преобразователей определяется стабильностью частоты сигнала задающего генератора и постоянством параметров катушек индуктивности и конденсаторов. Применяя вихретоковые преобразователи, следует учитывать, что они чувствительны к внешним электромагнитным полям.

Для вихретоковых преобразователей характерны относительно низкая чувствительность и наличие погрешностей, обусловлен-

ных изменениями электрических свойств проводящего тела. Однако такие преобразователи все же нашли свое применение в схемах активного контроля в машиностроении, поскольку они могут успешно работать в загрязненных и агрессивных средах, при воздействии различных смазывающе-охлаждающих жидкостей и при высоких скоростях подачи инструмента и обрабатываемых изделий.

1.11. Датчики положения для систем числового программного управления

Для построения систем числового программного управления (ЧПУ) станками, которые в настоящее время используются во всех вариантах построения технологических процессов в механической обработке, существенным является получение данных об истинном положении рабочих органов станка. Числовое программное управление координатными перемещениями с достижением при этом необходимой точности обеспечивается благодаря соответствующим устройствам обратной связи по положению, объединяемых общим названием «системы дистанционного отсчета».

Для абсолютного отсчета в таких системах автоматизации в основном используются круговые кодовые датчики положения. Системы автоматизации, использующие информацию, поступающую по одному каналу в виде серии импульсов, число которых пропорционально величине перемещения (в виде так называемого *унитарного кода*), базируются, главным образом, на применении циклических датчиков.

Среди промышленных датчиков, используемых для управления координатными перемещениями в системах ЧПУ как для абсолютного, так и для циклического отсчета, наиболее распространены фазовые датчики положения.

Устройством, служащим для преобразования угла поворота одной катушки по отношению к другой в сдвиг фазы одного переменного синусоидального напряжения по отношению к другому переменному синусоидальному напряжению такой же частоты, является вращающийся трансформатор.

Синусно-косинусный вращающийся трансформатор называется также *резольвером*. В нем на статоре и роторе имеются по две одинаковые обмотки, конструктивно расположенные взаимно перпендикулярно. На пару статорных обмоток подаются два синусоидальных опорных напряжения, одинаковых, но со взаимным сдвигом фаз на 90° . Такой сдвиг фаз можно получить, например, подавая второе из двух переменных гармонических напряжений через электрический конденсатор. В результате взаимодействия векторов напряженности магнитных полей обеих статорных обмо-

ток возникает вращающееся магнитное поле, т.е. такое поле, напряженность которого представляет собой вектор, постоянный по абсолютной величине, но вращающийся относительно центра статора с угловой частотой, равной частоте опорного переменного тока. В обмотках ротора индуцируется ЭДС такой же частоты, но сдвинутая по фазе относительно опорного напряжения на величину, определяемую углом поворота ротора относительно статора.

Характерным примером подобного фазового датчика, применяемого в станках с числовым программным управлением, может служить круговой абсолютный датчик положения с измеряемым перемещением до 10 000 мм. В таком датчике с помощью измерительной зубчато-реечной пары приводятся во вращение *бесконтактные сельсины*. Более точным, без дополнительных кинематических погрешностей, возникающих в зубчатой реечной передаче, является измерение положения рабочего органа станка с помощью бесконтактных линейных сельсинов. Схема бесконтактного линейного сельсина показана на рис. 1.14. Этот сельсин состоит из рейки Р и измерительной головки Г, устанавливаемых соответственно на неподвижном и перемещаемом узлах станка. Рейка выполняется из стали и имеет зубцы прямоугольного профиля с шагом S_p . Измерительная головка представляет собой участок аналогичной рейки с зубьями такого же прямоугольного профиля, шаг которых отличается от S_p на величину $1/6$, т.е. на половину одной фазы.

На измерительной головке Г имеется трехфазная обмотка, соединенная по схеме звезды (C_1-1-1' ; C_2-2-2' ; C_3-3-3'). Каждая фаза охватывает третий по счету от предыдущей фазы зубец. Кроме того, на зубцах головки имеется однофазная обмотка В, намотанная таким образом, что ее направления на соседних

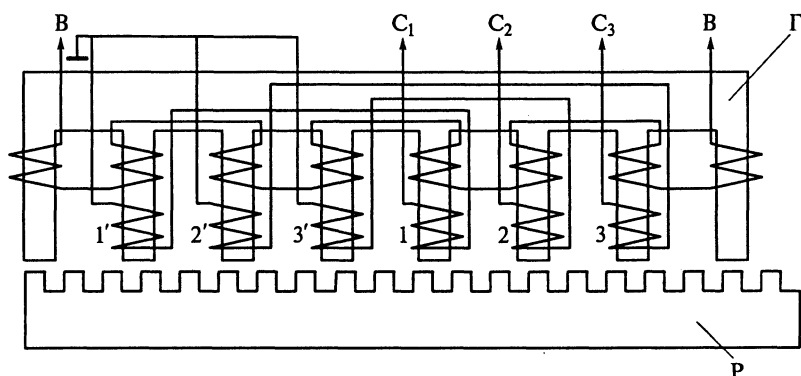


Рис. 1.14. Схема бесконтактного линейного сельсина

зубцах противоположны. Размеры окна, толщина зуба и зазор между зубцами рейки и головки таковы, что при перемещении головки относительно рейки магнитная проводимость каждого из ее зубцов меняется по закону, приближающемуся к синусоидальному.

При подаче на обмотку В синусоидального напряжения с амплитудой E_{\max} и перемещении головки на величину X в фазах C_1 , C_2 и C_3 индуцируются гармонические ЭДС, амплитуды которых изменяются по косинусоидальному закону: фаза этих напряжений изменяется на 180° при переходе головки через нулевое положение.

Такой режим работы сельсина, когда выходом является трехфазная обмотка, называется *трансформаторным*.

При подаче опорного трехфазного напряжения в трехфазную обмотку головки образуется бегущее магнитное поле, а в однофазной обмотке головки индуцируется ЭДС, фаза которой по отношению к опорному напряжению изменяется пропорционально перемещению X .

Такой режим работы сельсина, когда выходом является его однофазная обмотка, называется режимом *фазовращателя*.

Другим распространенным типом датчиков, используемым для обратной связи по программируемому координатным перемещениям в станках с ЧПУ, являются линейные и круговые индуктоины.

Индуктоин состоит из двух шкал, одна из которых устанавливается на подвижном, а другая на неподвижном узлах станка. Эти шкалы представляют собой пластины из электроизоляционного материала, обычно из гетенакса или текстолита, на которые фотопечатным способом нанесены обмотки прямоугольной формы. На одной из шкал имеется одна обмотка с шагом S , а на другой размещаются две расположенные навстречу друг другу обмотки с тем же шагом S , но сдвинутые по отношению друг к другу на величину $S/4$. При подаче на эти обмотки синусоидальных напряжений, сдвинутых по фазе относительно друг друга на 90° , образуется бегущее магнитное поле, а в обмотке, расположенной на другой пластине, индуцируется ЭДС, фаза которой оказывается пропорциональной перемещению X .

Разновидностью систем дистанционного отсчета, заслуживающей специального рассмотрения, являются устройства цифровой индикации (УЦИ). Как правило, они базируются на циклических датчиках положения. Принцип работы подобного УЦИ состоит в следующем. Измеряется разность фаз между опорным сигналом (напряжением) и выходным сигналом датчиков младших разрядов. Затем интервал времени, соответствующий этой разности, преобразуется в соответствующую дискретную величину. Эта дискретная величина имеет вид числа, изображаемого тем

или иным кодом, который записывается в один или два младших разряда УЦИ. После этого формируются показания старших разрядов УЦИ. Это делается путем подсчета с помощью реверсивных счетчиков числа совпадений фаз опорного сигнала и выходного сигнала датчика. Обычно такое совпадение производится через каждый миллиметр перемещения узла станка, тогда как доли миллиметра регистрируются в младших разрядах УЦИ.

Устройства подобного типа используются как автономно для цифровой индикации положения рабочих органов на станках с ручным управлением, так и для управления приводами в режиме позиционирования на станках с ЧПУ.

1.12. Типовые способы измерения производственных параметров

Там, где используются высокие мощности, например в коммутирующем оборудовании, электродвигателях, трансформаторах, что характерно для технологического оборудования механической обработки, необходимо осуществлять *гальваническую развязку* измерительных цепей датчиков от силовых цепей. Простейшим разделяющим элементом, обеспечивающим такую гальваническую развязку, можно считать электромагнитное реле. Наиболее современным решением задачи гальванической развязки является реализация этой развязки на паре светодиод — фототранзистор.

Такого рода сочетание называется *трансоптором*, или *оптроном*.

Чтобы датчики можно было практически использовать для подключения к системам автоматизации производственных процессов, в машиностроении используются три измерительные схемы: мостовая, дифференциальная и компенсационная.

Мостовая измерительная схема. Мостовая измерительная схема, существующая в двух разновидностях (балансной и небалансной) изображена на рис. 1.15.

На рис. 1.15 в противоположных участках цепей измерительной схемы, называемых плечами моста, размещаются эталонные сопротивления R_1 , R_2 и R_3 , а также измеряемое сопротивление R_x . Для равновесия моста необходимо, чтобы произведения величин сопротивлений, установленных в противоположных плечах измерительного моста, были равны между собой.

При соблюдении условий равновесия измерительного моста напряжение на его выходной диагонали будет отсутствовать, т. е. $U_{\text{вых}} = 0$. При изменении измеряемого сопротивления R_x условия равновесия измерительного моста будут нарушаться и на этой диагонали появится соответствующий электрический сигнал.

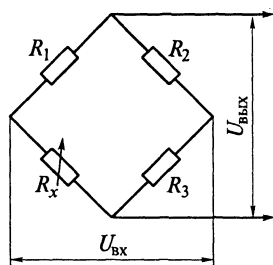


Рис. 1.15. Мостовая измерительная схема

Повышения точности отсчета можно добиться, изменяя сопротивления R_1 и R_3 , находящиеся в соседних плечах измерительного моста, таким образом, чтобы несмотря на изменения измеряемого сопротивления R_x свести к нулю изменения выходного на-

пряжения. Факт равенства нулю выходного напряжения фиксируется с помощью установленного в выходной диагонали измерительного моста прибора или устройства, называемого нуль-индикатором. Использование нуль-индикатора позволяет с большей точностью «ловить» момент равенства нулю выходного напряжения.

Дифференциальная измерительная схема. Для измерения емкостного сопротивления обычно используется дифференциальная схема. Такая схема также существует в двух вариантах. По первому варианту дифференциальной схемы, изображенному на рис. 1.16, *а*, как эталонное сопротивление 4 , так и измеряемое емкостное сопротивление 1 включаются в электрические контуры, симметрично запитываемые переменным напряжением от трансформатора 2 . При равенстве эталонного 4 и измеряемого 1 емкостного сопротивлений противоположно направленные токи в этих контурах (I_2 и I_1), будут равными по величине, так что результирующий ток через измерительный прибор 3 оказывается равным нулю, поскольку этот ток представляет собой разность токов I_1 и I_2 . При изменении величины измеряемого емкостного сопротивления показания измерительного прибора 3 будут отличаться от нуля и одно-

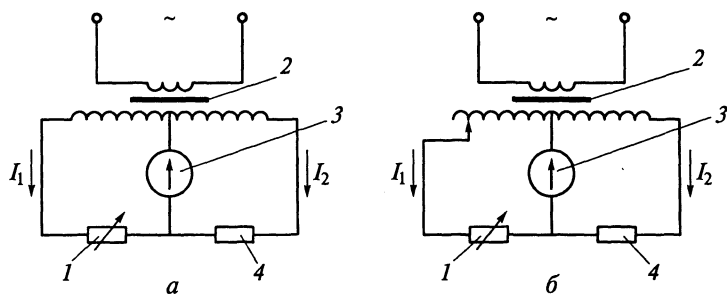


Рис. 1.16. Дифференциальные схемы измерений сопротивления:

а — с измерением разницы токов через измеряемое и эталонное сопротивления; *б* — с изменением ЭДС во вторичной обмотке; 1 — измеряемое сопротивление; 2 — трансформатор; 3 — измерительный прибор (для схемы *а*) или нуль-индикатор (для схемы *б*); 4 — эталонное сопротивление

значно изображать эти изменения емкостного сопротивления. Такая схема называется дифференциальной именно потому, что она основана на вычитании токов I_1 и I_2 .

Другой вариант измерения изменяющегося емкостного сопротивления с помощью дифференциальной схемы приведен на рис. 1.16, б. Здесь также происходит вычитание токов I_1 и I_2 , но изменение измеряемого емкостного сопротивления I компенсируется изменением напряжения, снимаемого со вторичной обмотки трансформатора 2, так что ток через измерительный прибор 3 остается равным нулю. Величина ΔE , на которую нужно изменить исходное напряжение E , однозначно определяет величину изменения измеряемого емкостного сопротивления.

Приравнивание к нулю тока через измерительный прибор позволяет использовать его как нуль-индикатор, что повышает точность измерений. Для этой цели и применяется такой вариант дифференциальной схемы.

Компенсационная измерительная схема. Для использования сигнала от генераторных датчиков применяется компенсационная схема измерительная.

Суть работы компенсационной схемы состоит в том, что подбирается значение ЭДС источника, равное ЭДС, генерируемой датчиком. Факт равенства подбираемой и генерируемой датчиком ЭДС определяется по отсутствию тока в соответствующем контуре. Факт же отсутствия тока в контуре определяется по показаниям прибора, являющегося нуль-индикатором. При этом не требуется измерять абсолютную величину протекающего тока, а требуется лишь определить факт равенства этого тока нулю. Этим и обуславливается высокая чувствительность компенсационной схемы с нуль-индикатором.

Контрольные вопросы

1. Что такое измерительные преобразователи?
2. Каковы характерные особенности генераторных и параметрических датчиков?
3. Дайте определение чувствительности и разрешающей способности преобразователя.
4. Что называется воспроизводимостью измерения?
5. Объясните, что такое прецизионность и точность (погрешность) измерения?
6. Что такое ошибки применения?
7. Что называют шумами применительно к датчикам?
8. Что называется тарировочной кривой датчика?
9. Что такое статическая и динамическая характеристики датчика?
10. Что такое гистерезис датчика?
11. Что представляют собой ударное, ступенчатое, линейное и гармоническое входные воздействия?

12. Перечислите основные показатели качества переходного процесса датчика.

13. Каковы основные примеры применения электроконтактных датчиков в машиностроении?

14. Объясните работу фотореле.

15. Каково устройство реостатного датчика?

16. Что такое прямой и обратный термоэффекты?

17. Что такое термометр сопротивления?

18. Какие существуют способы повышения чувствительности пьезодатчиков?

19. Дайте определение когерентному излучению.

20. Как работают электромагнитные преобразователи тока и напряжения?

21. Что называется датчиком циклического и датчиком абсолютного отсчета?

22. Для чего применяются устройства цифровой индикации?

23. Для чего нужна гальваническая развязка и как она реализуется?

24. Что такое балансная и небалансная мостовые измерительные схемы?

25. Что такое дифференциальная измерительная схема и каковы ее разновидности?

26. Что такое компенсационная измерительная схема и как она работает?

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

2.1. Общие сведения о преобразовании информации в системах автоматизации производственных процессов

Все процессы машиностроения, связанные с информацией, можно подразделить на три группы:

- получение и индцирование информации о параметрах технологического процесса;
- получение, переработка и индцирование информации о параметрах технологического процесса;
- получение и переработка информации о параметрах технологического процесса с последующим использованием полученных результатов для воздействия на технологический процесс.

В первом случае следует говорить о показывающих и регистрирующих приборах. Примером могут служить различного рода измерительные и регистрирующие системы.

Во втором случае следует говорить о системах первичной обработки информации с последующей индикацией и (или) регистрацией переработанной информации. Примером могут служить системы статистической обработки результатов контроля и разбраковки, применяемые в массовом производстве, характерном, например, для подшипниковой промышленности или производства боеприпасов.

В третьем случае следует говорить об автоматических системах управления технологическими процессами. Примером здесь могут служить различные системы программного управления, в том числе числового программного управления станками, системы управления копировальными станками, системы, воспроизводящие изменение какой-либо задающей величины, к которым относятся системы «электрического вала» или системы «гидравлической оси», а так же системы стабилизации того или иного параметра.

Все системы автоматизации принято рассматривать как совокупность элементов, соединенных параллельно и последовательно и охваченных обратными связями.

Обратная связь в подобных системах имеет исключительно важное значение. Сущность всякой обратной связи состоит в том, что

выходное воздействие или его часть снова подаются на вход этого же элемента. Обратная связь может быть положительной, если подаваемая на вход доля выходной величины суммируется с исходной входной величиной. Обратная связь может быть отрицательной, если подаваемая на вход доля выходной величины вычитается из исходной входной величины.

Положительная обратная связь служит для форсирования переходных процессов, но в компонентах системы, охваченных положительной обратной связью, могут возникнуть автоколебания. В самом деле, небольшое отклонение в ту или другую сторону выходной величины вызывает отклонение в ту же сторону и входной величины, что в свою очередь вызывает дальнейшее отклонение выходной величины в ту же сторону и т. д.

Отрицательная обратная связь вызывает общее уменьшение коэффициента усиления данного компонента системы, но она способна оказать и соответствующее стабилизирующее воздействие. В самом деле, небольшое отклонение в ту или другую сторону выходной величины вызывает отклонение в противоположную сторону входной величины, что в свою очередь вызывает отклонение в противоположную сторону выходной величины и т. д.

Важной характеристикой обратной связи является ее коэффициент β , показывающий, какая доля выходной величины подается обратно на вход данного компонента.

Большей частью системы автоматизации производственных процессов в машиностроении строятся из электрических компонентов.

Это объясняется удобством преобразования электрического сигнала и его передачи на большие расстояния. Однако в ряде случаев электрические компоненты систем автоматизации производства в машиностроении обладают недостаточными для своего предназначения мощностью и быстродействием. Поэтому для реализации подобных систем обычно стремятся разнообразить источники применяемой энергии и наряду с электросетью предприятия использовать также и заводскую сеть сжатого воздуха и(или) создавать локальные гидросистемы.

Важным компонентом систем автоматизации производства являются *фильтры*. Здесь не идет речь об устройствах физической очистки рабочей среды, характерных для систем пневмо- и гидроавтоматики, а имеются в виду устройства, в различной степени подавляющие или задерживающие сигналы в зависимости от их частот.

Различают следующие разновидности фильтров:

- фильтры низкой частоты, пропускающие гармонические составляющие сигнала низкой частоты и подавляющие его высокочастотные гармонические составляющие;

- фильтры высокой частоты, пропускающие гармонические составляющие сигнала высокой частоты и подавляющие его низкочастотные гармонические составляющие;

- полосовые фильтры (ПФ), пропускающие гармонические составляющие сигнала только в заданном диапазоне частот;

- режекторные фильтры (РФ), подавляющие гармонические составляющие сигнала в заданном диапазоне частот.

Фильтры становятся особенно необходимыми, если учесть, что в реальных производственных условиях системы автоматизации должны работать при воздействии электромагнитных излучений, возникающих вследствие процессов в электросети и в силовом электромагнитном оборудовании. Существенным способом борьбы с такого рода помехами является различного рода экранирование как соединительных кабелей, так и агрегатов в целом.

В производственной практике принято различать следующие разновидности систем автоматизации:

- системы автоматической сигнализации, используемые для извещения эксплуатационного персонала о состоянии той или иной рабочей позиции и о протекании производственного процесса в целом и на каждой позиции;

- системы автоматического контроля за различными параметрами, характеризующими работу того или иного технологического агрегата и протекание производственного процесса в целом и на каждой рабочей позиции;

- системы автоматической блокировки и защиты, предотвращающие возникновение аварийных ситуаций в тех или иных технологических агрегатах при протекании производственного процесса в целом и на каждой рабочей позиции;

- системы автоматического пуска и останова для включения, остановки и реверса по заданной программе тех или иных двигателей, используемых в отдельных технологических агрегатах, при протекании производственного процесса в целом и на каждой рабочей позиции;

- системы автоматического управления отдельными технологическими агрегатами, а также протеканием производственного процесса в целом и на каждой рабочей позиции.

Соответственно с выбранной системой автоматизации переработку производственной информации можно вести с помощью различных технических устройств, к числу которых относятся:

- аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи;

- усилители;

- переключающие и логические элементы;

- триггерные и пересчетные схемы;

- преобразователи кодов.

2.2. Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи

Информация, полученная с описанных ранее датчиков и используемая для целей автоматизации, как правило вырабатывается в виде тех или иных электрических величин в аналоговой форме, т. е. она может принимать любые значения во всем диапазоне изменения. При цифровой форме представления информации она изображается некоторым электрическим кодом.

Аналоговыми электрическими величинами, которые должны восприниматься, обрабатываться и тем или иным образом использоваться в дальнейшем, могут являться напряжение, сопротивление, сила тока, частота и сдвиг фазы.

Цифровая информация по сравнению с аналоговой более удобна для визуального отсчета и регистрации, для передачи на расстояние и для запоминания.

Кроме того, цифровая информация меньше подвержена искажениям и влиянию помех, над ней проще выполнять требуемые операции. Можно также построить цифровой вычислительный процесс таким образом, чтобы во время вычислительной обработки исходной информации ошибки вычислений не возрастали, не накапливались и не запоминались. Принципиальным достоинством цифровых устройств по сравнению с аналоговыми является отсутствие явления, называемого «дрейфом нуля», т. е. изменения показаний на выходе при неизменном значении входной величины.

Принципиальным же недостатком цифровой информационной технологии по сравнению с аналоговой является более высокая сложность цифровых устройств, хотя они и строятся из повторяющихся однотипных ячеек. Более высокая сложность цифровых устройств обусловлена необходимостью реализации внутри каждой ячейки большого количества переключательных схем. Большое число элементов, необходимое для выполнения цифровой обработки информации, приводит также к увеличению времени выполнения такой обработки. Однако современные технологические методы производства электронных устройств, обеспечивающие возможность размещения в единице объема большого числа переключательных элементов при малых общих габаритных размерах, высокой надежности, высоком быстродействии и небольшой стоимости, делают этот недостаток не очень существенным.

Полученную тем или иным образом аналоговую величину, как правило, целесообразно преобразовывать в цифровую форму и представлять в виде кода некоторого числа.

Рассмотрим способы, которыми аналоговая электрическая величина преобразуется в электрический код и обратно.

Квантование. Числовое значение измеряемой величины определяется в процессе ее *квантования*. Применяют три вида квантования: по уровню, по времени, и совместно по уровню и времени.

Квантование по уровню. Для квантования по уровню характерно представление аналоговой величины лишь теми ее значениями, которые располагаются через определенные ее интервалы ΔY . Моменты времени, в которые происходит такое представление входной аналоговой величины, заранее не задаются и определяются только фактом достижения аналоговой величиной заданного уровня. Интервалы изменений квантуемой аналоговой величины называются *шагом квантования*. Чем меньше шаг квантования, тем ближе к исходной непрерывной кривой изображающая ее ступенчатая ломаная линия.

Квантование по времени. В случае квантования по времени непрерывная кривая заменяется ее отдельными значениями в заранее заданные моменты времени. Обычно эти моменты времени выбираются равноотстоящими друг от друга, хотя иногда на интервале резкого изменения квантуемой величины они «сгущаются», а на том интервале, где квантуемая величина изменяется мало, эти моменты времени больше отстоят друг от друга. Промежуток времени между двумя соседними моментами, в которые определяется значение квантуемой величины, называется в этом случае *периодом дискретности*, или *интервалом квантования*.

Квантование по уровню и времени. Как правило, в цифровых измерительных приборах и цифровых системах автоматизации осуществляется представление входной аналоговой величины в виде цифрового кода с помощью комбинированного подхода, сочетающего квантование и по уровню, и по времени. В результате такого комбинированного подхода дискретные значения входной величины представляются в виде некоторого цифрового кода. Для дальнейшей обработки наиболее удобным является двоичный код, но для индикации и визуального восприятия более удобным является десятичный код. Поэтому перевод (трансляция) двоичного кода в десятичный обычно осуществляется на выходе всей системы автоматизации после выполнения операций квантования в двоичный код и действий над квантованными величинами.

Если входная информация изображается протяженностью временного отрезка, то входной сигнал стабильной частоты, формируемый, например, кварцевым генератором, подается на счетчик входным фронтом сигнала, длительность которого изображает преобразуемую аналоговую величину, а задний фронт этого сигнала отключает подачу импульсов генератора на вход этого счетчика. Содержимое счетчика на момент подачи заднего фронта входного сигнала будет представлять собой число, пропорциональное длительности входного сигнала.

Если входная информация изображается частотой следования импульсов, то сигнал, генерируемый опорным генератором постоянной частоты, более низкой, чем измеряемая, включает и выключает подачу информационных импульсов на вход соответствующего счетчика. Для получения сигнала, открывающего и запирающего входы этого счетчика, часто используют промышленный переменный ток, гармонически изменяющийся с частотой 50 Гц, который переформируется в прямоугольные импульсы той же частоты.

Использование промежуточных преобразований. Для преобразования напряжения в код можно построить преобразователь напряжения во время или напряжения в частоту и далее использовать те схемы аналого-цифрового преобразования, которые уже были рассмотрены. В таком случае говорят о методах с использованием промежуточных преобразований.

Пример преобразования напряжения в интервал времени приведен на рис. 2.1.

В соответствии с этой схемой преобразуемая аналоговая величина напряжения X сравнивается с пилообразным напряжением $U_{\text{раб}}$ аналогично тому, как это делается для управления разверткой в обычном электронном осциллографе.

Если $X \geq U_{\text{раб}}$, то напряжение выходного импульса $Y = 1$. Если $X < U_{\text{раб}}$, то $Y = 0$. Так как равенство X и $U_{\text{раб}}$ наступает в различные моменты в зависимости от текущего значения величины X , то и ширина импульсов будет различной и будет отображать величину X .

Точность преобразования входного аналогового сигнала в устройствах с пилообразным напряжением зависит от точности и стабильности этого пилообразного напряжения, а также от точности промежуточных преобразований. Схемы преобразования с использованием мгновенных значений в значительной степени подвержены воздействию помех.

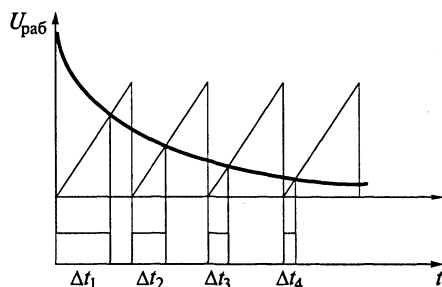


Рис. 2.1. Преобразование величины напряжения в интервал времени

Схемы, использующие усредненные значения, подобные преобразователям частоты в код, обладают большей помехоустойчивостью, но характеризуются меньшим быстродействием.

Преобразователи с подсчетом. Существуют также схемы преобразователей аналоговой величины в код, не требующие использования промежуточного параметра. Такие преобразователи называются преобразователями с подсчетом.

Суть действия таких преобразователей состоит в том, что сигнал сброса обнуляет и запускает счетчик, выход которого и является выходом преобразователя. Запитывается этот счетчик от генератора стабильной базовой частоты. Число, накопившееся в счетчике, подвергается обратному цифро-аналоговому преобразованию. Полученное таким образом аналоговое напряжение сравнивается с входным аналоговым напряжением, и при достижении равенства этих напряжений формируется сигнал, отключающий дальнейший доступ опорных базовых импульсов от входа счетчика.

Число, оказавшееся в этот момент в счетчике, изображает преобразуемую аналоговую величину. Его нужно успеть считать раньше, чем поступит новый сигнал сброса и запуска нового цикла преобразования.

Необходимости успеть считать число, оказавшееся в счетчике, до запуска нового цикла преобразования можно избежать, если в качестве базового использовать не односторонний, а реверсивный счетчик. Временная диаграмма преобразования аналоговой величины X в кодовую величину Y на основе использования реверсивного счетчика, генератора стабильной базовой частоты и аналогового компаратора приведена на рис. 2.2.

Для обратного преобразования, т. е. для преобразования числа, заданного тем или иным кодом, в соответствующую аналоговую величину существуют различные способы. Выбор конкретного способа зависит от представления исходного числа и от того, в какую именно аналоговую величину оно должно быть преобразовано.

Всякая цифровая величина может быть представлена либо в параллельном, либо в последовательном кодах. В первом случае информация представляется пакетами сигналов, принимающих значения «0» или «1» с разными кодовыми комбинациями. Во втором случае наряду с последовательно передаваемыми кодами разрядов может использоваться и серия синхронизирующих импульсов.

Идея преобразования двоичного числа в соответствующее значение аналоговой величины заключается в подключении для суммирования значений этой аналоговой величины только для тех двоичных разрядов, где в цифровом коде преобразуемого числа имеется 1, причем эти значения соотносятся между собой как 2 в степени, соответствующей номеру данного разряда, начиная с 0. Это называется «суммированием с весами».

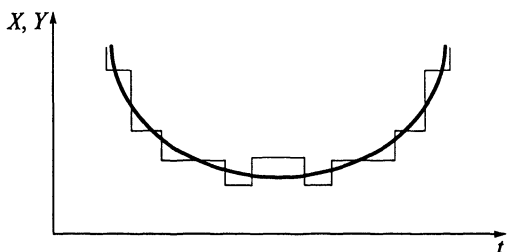


Рис. 2.2. Схема аналого-цифрового преобразования на базе реверсивного счетчика

Принципиальным недостатком такой схемы является трудность точного воспроизведения соотношений между «весами» суммируемых разрядов, особенно при достаточно большом числе этих разрядов.

Поэтому в промышленной практике широко применяются схемы, основанные на так называемой «лестнице сопротивлений». Они лишены указанного недостатка. Пример подобной схемы для преобразования параллельного двоичного электрического кода в аналоговую величину напряжения приведен на рис. 2.3.

В этой схеме «лестница сопротивлений», построенная на резисторах R и $2R$, запитывается стабилизированным опорным напряжением U_0 . Резисторы, подключаемые при замыкании того или иного ключа $K4 \dots K1$, образуют делитель напряжений. Выходной пропорциональный усилитель $У$ должен иметь большое значение входного сопротивления, близкое к полному разрыву, чтобы практически не влиять на напряжения, суммируемые на его входе. Если замкнут только ключ $K1$, то входное напряжение усилителя $У$ равно $U_0/2^1$, если замкнут только ключ $K2$, то входное напряжение усилителя $У$ равно $U_0/2^2 = U_0/4$ и т.д. Таким образом, эта схема может преобразовывать параллельный двоичный код в напряжение на входе пропорционального усилителя. Такой преобразова-

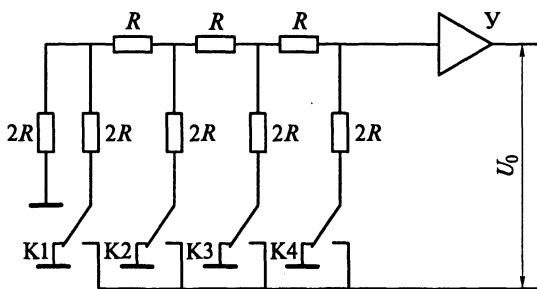


Рис. 2.3. «Лестничная» схема преобразования параллельного двоичного электрического кода в напряжение

тель практически реализуется проще, чем преобразователь на основе сопротивлений со взвешенными разрядами. Это объясняется тем, что в такой схеме значения резисторов подразделяются всего лишь на две группы, а внутри каждой группы резисторы равны между собой. Номиналы значений резисторов одной группы ровно в 2 раза превышают номиналы значений резисторов другой группы.

Подобным же образом строятся и преобразователи последовательного кода в аналоговую величину.

Использование компьютеров в системах измерения. Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразования приобретают в настоящее время особое значение в связи с тем, что в современных системах измерения, индикации и автоматизации объектов и процессов в машиностроении все более широко применяются компьютеры. Компьютеры на основе информации о состоянии объекта, полученной с датчиков производственных параметров, а также на основе сигналов, вводимых оператором, выбирают адреса для управляющих воздействий и вырабатывают соответствующие управляющие воздействия.

Компьютеры в машиностроительных процессах и объектах используются в следующих направлениях:

- автоматизация измерений и регистрации параметров;
- проведение исследований различных объектов и их моделей;
- осуществление автоматического управления процессами и объектами машиностроения;
- конструкторская, технологическая и организационная подготовка производства.

Для решения этих задач необходимо осуществлять согласование параметров выходного сигнала передающего устройства и входного сигнала приемного устройства, а также проводить борьбу с помехами, возникающими в линиях передачи информации.

На выходе компьютерных сетей помимо штатных внешних компьютерных устройств, таких как принтеры, дисплеи, модемы, в системах автоматизации производственных объектов и процессов в машиностроении используются также специальные *индикаторы и регистраторы*.

Индикаторами двоичных чисел, т.е. ситуации «имеется — отсутствует», чаще всего являются электрические лампы накаливания и газоразрядные лампы, обычно неоновые.

Для индикации десятичных цифр наиболее широко используются:

- цифровые газоразрядные лампы;
- сегментные индикаторы;
- проекционные индикаторы;
- точечные и мозаичные индикаторы.

Что касается регистраторов, то чаще всего используются следующие виды такого рода устройств:

- телетайпы;
- ленточные перфораторы;
- печатающие устройства (принтеры);
- устройства записи на аудио- и видеокассеты;
- устройства записи на компакт-диски;
- расчерчивающие устройства (плоттеры).

2.3. Усилители

Сигнал, изображающий выходную величину того или иного датчика параметра производственного процесса, как и сигнал, поступающий с устройств ручного ввода, в большинстве случаев является по своей физической природе электрическим, хотя иногда бывает и гидравлическим, и пневматическим, и механическим. Для проведения последующей обработки или для использования в различного рода исполнительных механизмах этот сигнал должен подвергнуться или усилению, или ослаблению. Устройство, служащее для усиления поступающего на его вход сигнала, называется *усилителем*, а для ослабления — *аттенюатором*. Классификация усилителей сигналов по их физической природе приведена на рис. 2.4.

К числу общих показателей, характеризующих любые усилительные устройства независимо от их физической природы, прежде всего относится *коэффициент усиления*.

Для усилителей различной физической природы под коэффициентом усиления K_y понимается отношение установившегося значения величины сигнала $U_{\text{вых}}$ на выходе усилителя к установившемуся значению величины сигнала $U_{\text{вх}}$ на его входе. Эта величина определяется выражением

$$K_y = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$$



Рис. 2.4. Классификация усилительных устройств

Поскольку у современных усилителей коэффициент усиления может достигать нескольких тысяч, для сокращения масштаба часто применяют *логарифмический* коэффициент усиления, измеряемый в децибелах, дБ.

По определению

$$K = 20 \lg(U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}) = 20 \lg K_y.$$

Если задан K , дБ, то можно найти соответствующий K_y , и наоборот.

Существует аналогия между процессами, происходящими в линейных электрических цепях и процессами, происходящими в линейризованных гидравлических и пневматических цепях, а также в линейных механических системах. Поэтому принято говорить об общих характеристиках усилителей, употребляя терминологию, относящуюся к линейным токовым цепям.

Различают усилители мощности, эксплуатируемые при большом токе нагрузки и, следовательно, при малом входном сопротивлении этой нагрузки, и усилители напряжения, эксплуатируемые при малом токе нагрузки и, следовательно, при большом входном сопротивлении этой нагрузки, близкой к полному разрыву.

В усилителях всегда имеются те или иные реактивные элементы, такие как емкость и индуктивность. Из-за наличия подобных реактивных элементов фаза выходного сигнала усилителя не совпадает с фазой входного сигнала.

Сдвиг фаз для различных гармонических частот, составляющих в соответствии с разложением Фурье любой сигнал, оказывается различным. Поэтому в каждый момент сумма частот на выходе не будет пропорциональной сумме частот на входе, составляющих исходный сигнал на входе. Это приводит к фазовым искажениям, вносимым усилителем.

Усилители характеризуются различными коэффициентами усиления по току, напряжению и мощности. Эти коэффициенты равны отношению уровней соответствующих сигналов на входе и выходе усилителя.

Следует различать коэффициент усиления по мощности и КПД усилителя. КПД усилителя, η , равняется отношению мощности выходного сигнала к мощности питания, а не к мощности входного сигнала.

Чувствительность усилителя по току, напряжению или по мощности — это минимальное значение соответствующих величин, вызывающее изменение сигнала на выходе усилителя.

Динамический диапазон D_d усилителя по току, напряжению или мощности определяется как отношение соответствующего максимального входного сигнала к минимальному, при котором искажения не превышают допустимого значения.

Динамический диапазон усилителя не может быть меньше динамического диапазона его входного сигнала.

Частотная характеристика усилителя есть зависимость коэффициента усиления данного усилителя от частоты усиливаемого сигнала. Частота откладывается в линейном или в логарифмическом масштабе по оси X , а на оси Y откладывается в линейном масштабе коэффициент усиления на данной частоте K . Часто K откладывается в дБ.

В идеальном усилителе частотная характеристика представляет собой горизонтальную прямую во всем диапазоне усиливаемых частот от f_0 до f_{\max} . Реальные усилители всегда характеризуются уменьшением усиления на низших и высших частотах (имеют так называемый завал частотной характеристики). Обычно считают допустимым снижение коэффициента усиления по мощности вдвое по сравнению с максимальным. Для цепей электрического тока мощность пропорциональна квадрату силы тока. Поэтому двукратное снижение мощности пропорционально снижению коэффициента усиления по току в $\sqrt{2}/2$ раз, что составляет примерно 0,707. Диапазон частот, в котором коэффициент усиления составляет не менее 0,707 от максимального коэффициента усиления, называется *полосой пропускания* данного усилителя $D_{\text{ч}}$.

Пример частотной характеристики усилителя приведен на рис. 2.5.

Величина частотных искажений M , дБ, определяется как отношение коэффициента усиления на средней для полосы пропускания частоте $f_{\text{ср}}$ к коэффициенту усиления на данной частоте f . Это соответствует соотношению

$$M = 20 \lg(K_{\text{ср}}/K_f).$$

Очевидно, что для идеального усилителя, когда во всей полосе пропускания коэффициенты усиления на любой частоте остаются

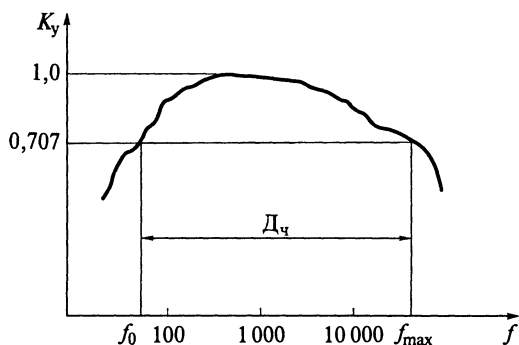


Рис. 2.5. Частотная характеристика усилителя

постоянными и равны между собой, величина частотных искажений M , дБ, равняется нулю.

В зависимости от вида усиливаемого сигнала, определяющего область применения того или иного усилителя, все усилители подразделяются следующим образом.

Гармонические усилители предназначены для усиления периодических сигналов, составляющие которых изменяются сравнительно медленно. Примером подобных усилителей могут служить магнитофонные усилители для усиления колебаний звуковой частоты.

Импульсные усилители предназначены для усиления импульсных, периодических и непериодических сигналов. Примером подобных усилителей могут служить компьютерные и телевизионные усилители, усилители схем автоматики и телемеханики.

Усилители постоянного сигнала предназначены для усиления постоянного сигнала. Выходной сигнал в таких усилителях пропорционален сумме постоянной и переменной составляющих входного сигнала.

Усилители переменного сигнала предназначены для усиления сигнала в полосе частот от низшей частоты $f_n > 0$ до высшей частоты f_v . Выходной сигнал в таких усилителях пропорционален только переменной составляющей входного сигнала.

В полосе частот усиливаемых сигналов выделяют усилители *низкой частоты* и *высокой частот*.

По характеру частотной характеристики усилители подразделяются на *резонансные* и *полосовые*. Резонансные усилители имеют пик коэффициента усиления на некоторой резонансной частоте, определяемой обычно резонансной кривой колебательного контура или колебательного элемента, включенного параллельно.

В зависимости от ширины полосы частот, на которых происходит резонанс усиления, усилители подразделяются на *узкополосные* и *широкополосные*.

Электронные усилители. Эти усилители отличаются способностью усиливать маломощные сигналы, т.е. сигналы мощностью порядка 10^{-6} Вт при напряжении порядка 10^{-3} В. Поэтому в системах автоматизации производства в машиностроении их применяют главным образом в качестве входных каскадов.

В настоящее время в системах автоматизации производства в машиностроении используются в основном *полупроводниковые электронные усилители*. Это объясняется их малыми габаритными размерами, низкой потребляемой электрической мощностью, высокой надежностью и вибростойкостью и малой подверженностью механическим воздействиям. Работа каскада электронного полупроводникового усилителя основывается на изменении тока от эмиттера к коллектору транзистора, питаемого от источника постоянного напряжения, при изменении тока базы этого транзи-

стора. Пример схемы простейшего электронного полупроводникового усилителя с общим эмиттером уже приводился при рассмотрении схемы электронного реле. Обычно в системах автоматизации производства в машиностроении используются двухкаскадные полупроводниковые электронные усилители. При этом достигается общий коэффициент усиления K_y , равный 30... 200.

Современные полупроводниковые электронные усилители кроме своей основной функции — усиления сигналов — способны также осуществлять фильтрацию усиливаемого сигнала, подавляя в нем помехи, вызываемые наводками от промышленной электросети.

Магнитные усилители. Работа *магнитного усилителя* (МУ) основана на использовании свойств ферромагнитных материалов.

Сигнал постоянного тока в магнитных усилителях преобразуется в сигнал переменного тока. МУ широко применяются в настоящее время в системах автоматизации производства в машиностроении. Это объясняется их высокой надежностью и долговечностью, обусловленными отсутствием движущихся частей и нечувствительностью к механическим перегрузкам, устойчивостью к работе при высоких и низких температурах и в условиях повышенной влажности. МУ отличаются высоким КПД и коэффициентом усиления и возможностью усиления маломощных сигналов постоянного тока.

Недостатком магнитного усилителя является присущая ему инерционность, определяемая его высокой индуктивностью, что ограничивает его применение в системах автоматики, требующих минимизации времени реагирования, например в следящих системах.

Принцип работы такого усилителя удобно рассмотреть на примере *дресселя с подмагничиванием* (рис. 2.6).

На этой схеме обмотка управления W_y питается напряжением $U_{вх}$ входного сигнала, а рабочая обмотка переменного тока I_n определяется напряжением $U_{вых}$. Последовательно с рабочей обмоткой W_p включено сопротивление нагрузки R_n . Переменный ток I_n в обмотке W_p определяется соотношением

$$I_n = U_{вых} / \sqrt{R^2 + X_L^2},$$

где R — активная составляющая сопротивления дросселя; X_L — реактивная составляющая сопротивления дросселя.

Реактивная составляющая X_L определяется следующим образом:

$$X_L = \omega L,$$

где $\omega = 2\pi f$; $L = \mu_0 \mu (w_p^2 S) / l$.

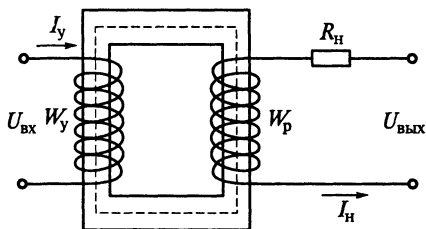


Рис. 2.6. Схема дросселя с подмагничиванием

Здесь μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, Г/м; S — площадь сердечника дросселя, m^2 ; l — длина средней силовой линии в сердечнике дросселя, м; w_p — число витков рабочей обмотки W_p ; μ — магнитная проницаемость сердечника дросселя для переменной составляющей магнитного поля, Г/м ($\mu = B/H$, где H , B — напряженность и индукция магнитного поля соответственно).

С увеличением постоянного тока подмагничивания магнитная проницаемость сердечника уменьшается, что приводит к уменьшению индуктивного сопротивления дросселя и, следовательно, к увеличению тока нагрузки I_H .

Однако такой дроссель применять в качестве магнитного усилителя практически нецелесообразно, так как в его управляющей обмотке W_y наводится ЭДС, противодействующая входному сигналу. Это снижает КПД усиления и вносит дополнительные шумы.

Поэтому практически простейший магнитный усилитель собирают из двух сердечников, что показано на рис. 2.7. В таком магнитном усилителе имеется некоторый начальный холостой ток I_{H0} при $I_y = 0$.

Рабочие обмотки W_p наматывают таким образом, чтобы магнитные потоки, создаваемые ими в обоих сердечниках, действовали навстречу друг другу, так что ЭДС, индуцируемые ими в обмотке управления W_y , взаимно компенсируются.

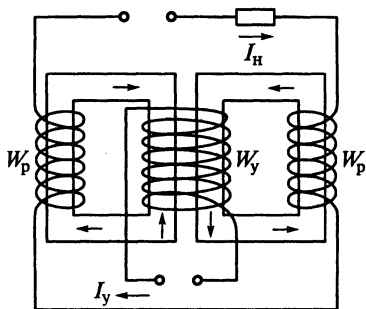


Рис. 2.7. Схема магнитного усилителя на двух сердечниках

Чтобы сделать магнитный усилитель чувствительным к знаку входного сигнала, нужно сместить начальную рабочую точку на его статической характеристике. Это достигается путем создания дополнительного постоянного магнитного поля за счет введения дополнительной обмотки постоянного тока. Она так и называется обмоткой смещения.

Введение начального смещения повышает также коэффициент усиления для малых значений тока управления I_y .

Электромашинные усилители. Для управления сравнительно мощными, до нескольких десятков кВт, устройствами применяются *электромашинные усилители* (ЭМУ).

Электромашинный усилитель представляет собой генератор постоянного тока, вращающийся с постоянной скоростью от специального привода, являющегося внешним источником энергии. Обычно таким приводом является трехфазный нерегулируемый асинхронный двигатель переменного тока. На обмотку возбуждения электромашинного усилителя подается усиливаемый сигнал, а выходным сигналом является напряжение, снимаемое с его щеток. Коэффициент усиления по мощности K_p , здесь, как и вообще в усилителях, равняется отношению выходной электрической мощности $P_{\text{вых}}$ к входной электрической мощности $P_{\text{вх}}$.

ЭМУ обладает достаточно большой *электромагнитной инерцией*, которая характеризуется постоянной времени T , эквивалентной электромагнитной цепи. Обычно в промышленных ЭМУ постоянная времени равняется 0,02...0,25 с.

Для сравнительной оценки качества различных ЭМУ необходимо сопоставлять как коэффициент усиления по мощности K_p , так и постоянную времени T . Отношение этих величин называется коэффициентом добротности ЭМУ.

Простейший ЭМУ изображен на рис. 2.8.

На этом рисунке двигатель $M1$ вращает с постоянной скоростью n_0 якорь генератора G . Таким двигателем обычно является

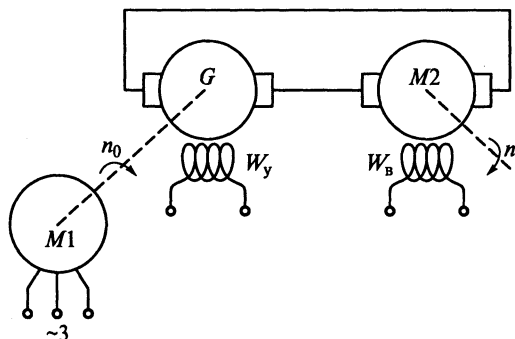


Рис. 2.8. Схема электромашинного усилителя

асинхронный трехфазный нерегулируемый двигатель переменного тока, но могут быть также использованы и другие типы двигателей с постоянными оборотами. Напряжение со щеток ЭМУ поступает на щетки исполнительного двигателя $M2$ с независимым возбуждением от обмотки W_B . Напряжение, поступающее на щетки исполнительного двигателя $M2$, пропорционально управляющему напряжению, поступившему на обмотку управления W_y ЭМУ.

В зависимости от способа возбуждения все ЭМУ подразделяются на ЭМУ продольного поля, где основной поток возбуждения направлен по продольной оси машины, и на ЭМУ поперечного поля.

Приведенный пример относится к однокаскадным усилителям продольного поля. Коэффициент усиления по мощности K_p составляет здесь 30... 100.

У двух- и многокаскадных усилителей коэффициент усиления равен произведению коэффициентов усиления каждого каскада.

Увеличить коэффициент усиления можно также введением положительной обратной связи. Если в дополнение к независимому возбуждению в ЭМУ ввести обмотку самовозбуждения, то к обмотке управления требуется подводить только часть энергии, необходимой для создания потока, а остальная необходимая энергия будет поступать от обмотки самовозбуждения в виде положительной обратной связи.

Обмотку самовозбуждения можно включать как последовательно, так и параллельно с обмоткой якоря. Сопротивление цепи возбуждения с целью предотвращения самопроизвольного возбуждения ЭМУ необходимо устанавливать несколько большим определенного порогового значения, называемого критическим сопротивлением.

В обычной электромашине постоянного тока поперечная реакция якоря искажает магнитное поле главных полюсов и вызывает искрение щеток. Поэтому для ослабления поперечной реакции якоря в силовой электротехнике принимаются соответствующие меры. Но в ЭМУ с поперечным полем магнитный поток реакции якоря используется для получения ЭДС. С этой целью на коллекторе двухполюсной электромашины устанавливают дополнительную пару щеток $q-q$, ось которых перпендикулярна оси основных щеток $p-p$ (рис. 2.9).

На рис. 2.9 двигатель, вращающийся с постоянной скоростью якорь ЭМУ, условно не показан. На обмотку W_y , расположенную на полюсах генератора, представляющего собой ЭМУ, подается управляющий ток I_y . В поперечной цепи рассматриваемой электромашинки наводится ЭДС E_q . Поперечная пара щеток $q-q$ замыкается накоротко или через небольшое сопротивление подмагничивающей обмотки W_n , поэтому даже небольшая ЭДС E_q вызывает значительный ток. Якорь, вращаясь в созданном таким образом

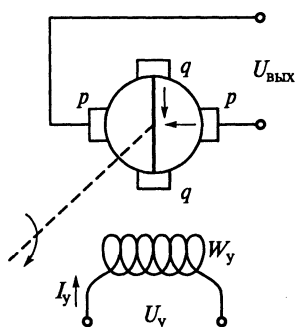


Рис. 2.9. Схема двухкаскадного ЭМУ с поперечным полем

поперечном магнитном поле, наводит ЭДС продольной цепи. Под действием этой ЭДС в цепи нагрузки возникает соответствующий ток.

Такой ЭМУ представляет собой одно-якорный двухкаскадный усилитель, у которого магнитный поток второго каскада создается поперечной реакцией якоря на первом каскаде усиления. Поэтому такие ЭМУ называют также *ЭМУ поперечного поля*.

Однако такой усилитель работоспособен лишь при небольших токах нагрузки. Это происходит потому, что если к щеткам продольной цепи подключить существенную нагрузку, то через обмотку якоря пойдет значительный ток и возникающая при этом реакция якоря будет противодействовать управляющему магнитному потоку. Для компенсации подобной продольной реакции якоря в ЭМУ с поперечным полем помимо управляющей обмотки помещают также и компенсационную обмотку. Она включается последовательно в цепь нагрузки и нейтрализует размагничивающее действие нагрузочного тока.

Поток реакции якоря должен уравниваться потоком, создаваемым компенсационной обмоткой.

Если поток реакции якоря больше, чем поток, создаваемый компенсационной обмоткой, то ЭМУ недокомпенсирован и при большом токе нагрузки усиление падает. Если поток реакции якоря меньше, чем поток, создаваемый компенсационной обмоткой, то ЭМУ перекомпенсирован и при большом входном токе возникают нелинейные искажения. Наконец, если эти магнитные потоки равны, то рассматриваемый ЭМУ является более или менее точно скомпенсированным. Ток в компенсирующей обмотке можно регулировать с помощью соответствующего реостата.

Общий коэффициент усиления двухкаскадного ЭМУ с поперечным полем обычно составляет 10 000. Иногда он достигает 100 000.

Постоянная времени при этом достаточно велика и составляет 0,1...0,25 с.

При мощности до нескольких кВт ЭМУ и приводной асинхронный двигатель обычно конструктивно размещают в одном корпусе.

Гидро- и пневмоусилители. Эти усилители по принципу действия подразделяются на дроссельные и струйные.

К дроссельным усилителям в первую очередь следует отнести золотниковые усилители. *Золотниковым усилителем* явля-

ется специальное прецизионное механическое устройство, которое состоит из гильзы с дросселирующими окнами и перемещающегося внутри нее плунжера. Оно предназначается для распределения по рабочим трубопроводам давления и расхода рабочей среды (масла или воздуха), поступающей по напорному трубопроводу. Золотники бывают плоские и цилиндрические. Наиболее часто применяются цилиндрические золотники.

На рис. 2.10 приведена схема усилителя на основе отсечного золотника. Здесь осуществляется управление двухсторонним приводом, т. е. рабочая среда под давлением подается то в одну, то в другую полость рабочего цилиндра. Золотниковое устройство состоит из гильзы 1 и плунжера 2, перемещающегося внутри этой гильзы под управляющим воздействием x . Перемещаясь, плунжер перекрывает окна в гильзе, ведущие к трубопроводам 4 и 3, обеспечивающим подачу рабочей среды в соответствующую рабочую полость исполнительного цилиндра. По трубопроводу 6 к золотнику подводится под давлением рабочая среда, а по трубопроводам 5 и 7 возможен ее отвод от золотника. Плунжер 2 представляет собой сдвоенный поршень или целостную цилиндрическую деталь с проточками и в среднем положении перекрывает одновременно оба окна, ведущие к трубопроводам 4 и 3. Этим отсекается поступление рабочей среды в рабочий цилиндр или отток ее оттуда.

При смещении плунжера относительно среднего положения соответствующие окна открываются для подачи рабочей среды в ту или иную полость рабочего цилиндра и для оттока ее из другой полости. Скорость перемещения рабочего поршня определяется степенью открытия соответствующего окна.

Золотниковые усилители этого типа позволяют получать на выходе мощность до 100 кВт при воздействии на плунжер мощности порядка нескольких ватт.

Разница между определяющим размером окна гильзы и шириной поршня плунжера называется величиной перекрытия золотника. В зависимости от знака такого перекрытия различают:

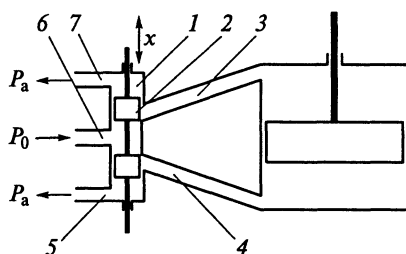


Рис. 2.10. Схема золотникового гидроусилителя:

1 — гильза; 2 — плунжер; 3 — трубопровод подвода (отвода) к (из) рабочей полости; 4 — трубопровод подвода (отвода) к (из) рабочей полости; 5, 7 — трубопроводы отвода от золотника; 6 — трубопровод подвода к золотнику

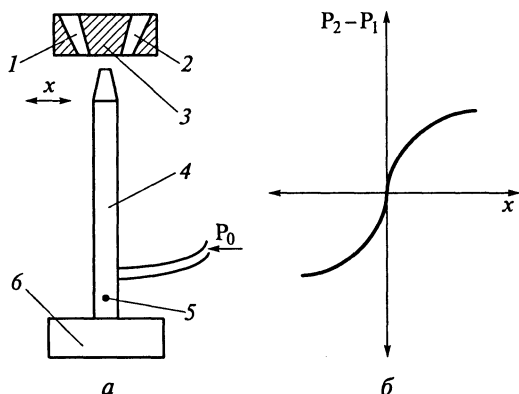


Рис. 2.11. Конструктивная схема (а) и статическая характеристика (б) гидро- или пневмоусилителя на базе струйной трубки:

1, 2 — приемные сопла; 3 — приемник; 4 — поворотная трубка; 5 — ось; 6 — противовес

- золотники с положительным перекрытием, когда ширина поршня плунжера больше определяющего размера окна гильзы;
- золотники с нулевым перекрытием, когда ширина поршня плунжера равняется определяющему размеру окна гильзы;
- золотники с отрицательным перекрытием, когда ширина поршня плунжера меньше определяющего размера окна гильзы.

Отсечные золотники выполняют с положительным перекрытием, чем достигается более плотная отсечка подачи рабочей среды, но при этом возникает соответствующая зона нечувствительности.

Наоборот, проточные золотники выполняются с отрицательным перекрытием, вследствие чего через золотник такого типа всегда проходит поток рабочей среды.

В струйных гидро- и пневмоусилителях в качестве усилительного элемента используется струйная трубка. Соответствующая конструктивная схема и статическая характеристика такого усилителя приведены на рис. 2.11. В соответствии с рис. 2.11 струйный гидро- или пневмоусилитель состоит из поворотной трубки 4, в которую подается рабочая среда, и приемника 3 с соплами 1 и 2. Под действием управляющего сигнала x струйная трубка 4 поворачивается вокруг оси 5, в результате чего изменяется направление струи рабочей среды и ее поступление в приемные сопла 1 и 2. Обычно гидро- и пневмоусилители на базе поворотных струйных трубок снабжаются также противовесами 6, предназначенными для удержания этой трубки в равновесном положении.

Струйные гидравлические трубки работают с давлением масла 4...8 бар при расходе через трубку 5...10 л/мин. Максимальное отклонение такой трубки составляет обычно 1...2 мм.

Гидро- и пневмоусилители бывают и одно- и двухкаскадные.

Пневмоусилители характеризуются на порядок более высоким, чем гидроусилители, коэффициентом усиления и на один-два порядка более высоким быстродействием. Однако они менее точны, поэтому они применяются, главным образом, в быстродействующих зажимных устройствах, но не в управлении перемещениями рабочих органов.

2.4. Переключательные и логические элементы

Переключающие устройства и распределители предназначены для включения, отключения и переключения электрических цепей в электроприводе и потоков жидкости или газа в пневмо- и гидроприводе.

Электромагнитные контактные реле. Одним из основных электрических аппаратов, осуществляющих под воздействием поступающего на них дискретного электрического сигнала коммутацию в электрических цепях различных систем, применяющихся в системах автоматизации в машиностроении, является *электромагнитное контактное реле*. Такое реле по конструкции представляет собой базу (обычно пластину) из электроизоляционного материала (обычно из гетинакса или текстолита), на которой закрепляются катушка-соленоид со втягивающимся в нее стальным сердечником и изолированные друг от друга пары контактов. На штоке сердечника закрепляются изолированные друг от друга траверсы, на которых установлены пары контактов, способные замыкать или размыкать соответствующие контакты, установленные на базовой пластине. Таким образом, перемещение сердечника, происходящее вследствие подачи напряжения на катушку-соленоид, может вызвать замыкание или размыкание контактами, установленными на траверсах, до двенадцати пар контактов, установленных на базовой пластине. Это свойство, заключающееся в замыкании или размыкании контактов многих участков сети вследствие подачи единственного сигнала на обмотку соответствующего реле, называется *размножением контактов*. Какая именно пара контактов на базовой пластине будет при подаче напряжения на катушку замыкаться, а какая — размыкаться, определяется начальной установкой этих пар контактов. Так устроены и работают широко распространенные в схемах станочной автоматизации и управления реле типа РП. Подобные реле называются промежуточными, потому что они, с одной стороны, не являются датчиками — источниками тех или иных информационных сигналов, а с другой — не воздействуют непосредственно на исполнительные механизмы, а лишь вырабатывают для них управляющие воздействия. Задача се-

тей из таких реле состоит в логической обработке поступающих на них дискретных сигналов от различных датчиков и в выработке дискретных же управляющих сигналов для исполнительных механизмов.

Описанное электромагнитное реле является электрически *нейтральным*, т. е. изменение знака напряжения, подаваемого на обмотку такого реле, не меняет знак выходного сигнала. Нейтральное электромагнитное реле имеет два устойчивых состояния, а именно: контакты реле замкнуты, и контакты реле разомкнуты. Мощность управляющей обмотки реле может быть значительно меньше мощности в цепи нагрузки, так что можно говорить об электромагнитном контактном реле как об усилителе мощности.

В схемах электроавтоматики часто используются электромагнитные контактные реле, которые чувствительны к направлению тока в обмотке. Такие реле называются *поляризованными*. Поляризация таких реле осуществляется за счет магнитного потока смещения, создаваемого постоянным магнитом. При срабатывании поляризованного электромагнитного контактного реле происходит замыкание или размыкание одной из двух групп контактов.

По мощности, необходимой для срабатывания, реле подразделяются на высокочувствительные (до 10 мВт) и слаботочные нормальной чувствительности (до 1...5 Вт). По коммутируемой мощности различают переключательные реле малой мощности (до 50 Вт постоянного или до 120 В · А переменного тока), промежуточные (до 150 Вт постоянного тока и 500 В · А переменного тока), а также силовые контакторы.

Основным недостатком электромагнитных контактных реле является их потенциальная ненадежность и ограниченный срок службы, связанный с «подгоранием» контактов. Для противодействия такому подгоранию контактов реле помещается его изготовителем в герметизированный корпус. Герметизированный корпус реле заполняется атмосферой из нейтрального или даже восстанавливающего газа, чаще всего водорода.

Проектирование конкретной электрической системы управления тем или иным объектом машиностроения начинается с разработки принципиальной электроконтактной схемы. В этой схеме определенным образом увязываются обмотки катушек-соленоидов промежуточных реле и контактные пары, т. е. создаются сети обмоток и сети контактов.

Для питания релейно-контактных схем в основном используется постоянный ток напряжением 24 В или реже 48 В, так как при этом обеспечиваются более высокая электробезопасность и более высокие усилия, приложенные к контактам, а также исключается «дребезг контактов», который может возникнуть вследствие того, что в моменты перехода мгновенных значений переменного тока через нуль контакты удерживаются на месте лишь

силами инерции. Постоянное напряжение, используемое для запитки релейно-контактных релейных схем, вырабатывается обычно с помощью мостовых выпрямительных устройств.

Другой причиной использования в релейно-контактных схемах пониженного напряжения является то, что для обеспечения надежности контактов надо увеличивать силу, с которой они замыкаются или размыкаются. Это сила пропорциональна силе тока, протекающего через обмотку реле. Увеличение же силы тока при той же самой потребляемой мощности требует уменьшения рабочего напряжения обмотки.

Разработать принципиальную релейно-контактную схему — значит определенным образом расположить и увязать друг с другом, с источником питания и заземлением элементы, представляющие собой обмотки промежуточных реле и их контакты, а также входные сигналы и вырабатываемые схемой управляющие воздействия.

Исходными данными для такой разработки могут служить циклограммы движений рабочих органов, где указываются последовательность этих движений и существующие при этом причинно-следственные связи, циклограммы включений исполнительных аппаратов, где кроме вышесказанного указываются и времена соответствующих включений, а также специальные таблицы, где указывается характер выходных сигналов, т.е. являются эти сигналы импульсными или потенциальными. Разница между импульсным и потенциальным сигналами в цепях управления заключается не в их сравнительной длительности, а в том, что импульсный сигнал через то или иное время, которое может быть достаточно большим, снимается сам собой, а потенциальный сигнал требует для своего снятия подачи второго управляющего сигнала, хотя бы этот второй сигнал следовал сразу же за первым.

Обозначения на принципиальных схемах обмоток и контактов электромагнитных реле приведены на рис. 2.12.

Обмотки катушек самих промежуточных реле обозначаются на схемах прямоугольником, расположенным поперек линии связи. Это показано на рис. 2.12, *а*. Обмотка реле на схеме обозначается буквами РП, при которых ставится порядковый номер данного реле, заданный разработчиком этой схемы. На рис. 2.12, *б* изображен замыкающий контакт, на рис. 2.12, *в* — размыкающий контакт, а на рис. 2.12, *г* изображен перекидной контакт, т.е. такой контакт, при срабатывании которого одна пара контактов замыкается, а другая — размыкается. Контакты того или иного промежуточного реле предваряются цифрой, обозначающий порядковый номер данной пары контактов в этом реле.

Источниками дискретных сигналов для релейных электроконтактных переключательных схем могут быть любые аппараты с электрическим выходом. Например, это могут быть кнопки, осу-

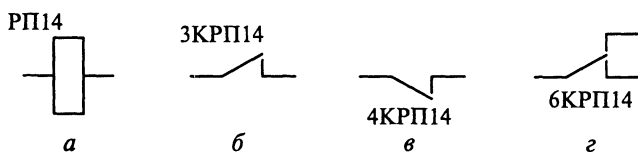


Рис. 2.12. Обозначения на принципиальных схемах обмоток и контактов электромагнитных реле:

a — катушка реле; *б* — замыкающий контакт; *в* — размыкающий контакт; *г* — перекидной контакт

шествяющие подачу сигналов «Пуск» и «Стоп», или путевые выключатели, подающие дискретные сигналы под действием движения рабочих органов станка. Обозначения на принципиальных релейно-контактных схемах таких источников сигналов приведены на рис. 2.13.

В соответствии с рис. 2.13 кнопки, на которые непосредственно нажимает оператор, обозначаются КН, а справа при них пишется цифра, которая, как и в предыдущем случае, обозначает порядковый номер данной кнопки в схеме. Кнопки могут быть замыкающими, например кнопка «Пуск» (рис. 2.13, *a*), и размыкающими, например кнопка «Стоп» (рис. 2.13, *б*). Путевые, или конечные, выключатели графически изображаются так же, как и кнопки, но сопровождаются надписями ПВ или КВ. Эти надписи также сопровождаются цифрой, которая, как и в предыдущем случае, обозначает порядковый номер данного путевого выключателя в рассматриваемой схеме. На рис. 2.13, *в* изображен замыкающий путевой выключатель, а на рис. 2.13, *г* изображен размыкающий путевой выключатель.

Кнопки и путевые выключатели продолжают свое действие до тех пор, пока длится их нажатие. Но можно сделать так, что они останутся включенными и после того, как нажатие на них прекратится. В этом случае говорят о «западающих» кнопках. Чтобы вернуть такую кнопку в исходное состояние, нужно нажать на нее во второй раз либо нажать другую, сбрасывающую кнопку. Сохра-

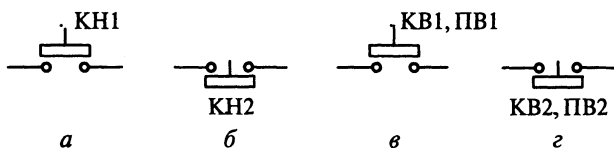


Рис. 2.13. Обозначения кнопок и путевых выключателей на принципиальных схемах электромагнитных реле:

a — замыкающая кнопка; *б* — размыкающая кнопка; *в* — замыкающий путевой выключатель; *г* — размыкающий путевой выключатель

няют свое новое состояние и после снятия ручного воздействия на них такие конструктивно отличающиеся от кнопок устройства, как тумблеры и переключатели. Однако механические устройства и защелки, удерживающие кнопки в нажатом состоянии, подвержены износу и влиянию окружающей среды, так что они являются элементом потенциальной ненадежности. Поэтому сохранение воздействия, произведенного кнопкой, лучше обеспечивать электрическим схемным путем. Обратим также внимание на то, что сами кнопки конструктивно могут быть весьма разнообразными, отличаясь формой и размерами головки, на которую производится нажатие. Такие головки могут быть клавишного типа или же рассчитанными на нажатие одним пальцем, а могут быть и так называемого грибкового типа, рассчитанного на нажатие всей ладонью. С головками грибкового типа выполняются все кнопки аварийного останова, требующие быстрого нажатия.

Выходные сигналы релейных переключательных схем могут поступать на все аппараты с дискретным электрическим входом. Особое место в схемах электроавтоматики занимают контакторы. *Контакторами* называются электромагнитные аппараты, предназначенные для включения и отключения силовых цепей. Контакторы, предназначенные для включения и отключения трехфазных асинхронных электродвигателей, называются *магнитными пускателями*. Потребителями выходных сигналов электрических переключательных схем являются следующие виды аппаратов:

- обмотки пускателей (контакторов) электрических моторов;
- соленоиды, управляющие гидравлическими и пневматическими золотниками и распределителями;
- сигнальные лампочки и светодиоды.

Соответствующие обозначения приведены на рис. 2.14.

На рис. 2.14 приведены обозначения на принципиальных релейно-контактных схемах потребителей дискретных сигналов.

Примером типовых решений, используемых при разработке принципиальных релейно-контактных схем, может служить схема *постановки на самопитание*. Она изображена на рис. 2.15. Согласно этой схеме реле, поставленное на самопитание, остается включенным и после того, как оператор перестает нажимать на пусковую кнопку.

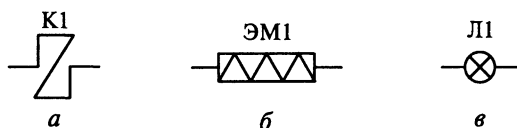


Рис. 2.14. Обозначения на принципиальных релейно-контактных схемах адресатов дискретных сигналов:

а — контактор; б — электромагнит; в — электролампа

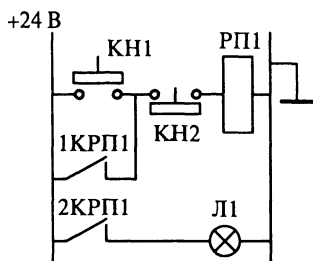


Рис. 2.15. Типовая принципиальная релейно-контактная схема постановки на самопитание

Следует заметить, что при срабатывании нескольких контактов иногда оказывается небезразличным, какие из них сработают раньше, а какие позже. Сработавшие контакты могут быть «подхвачены» элементами с запоминанием, что изменит ситуацию для элементов, запоздавших со срабатыванием. Вследствие случайного разброса времен срабатывания в одном случае раньше других сработают одни контакты, а в другом — другие. Это приводит к неопределенности в поведении переключательной схемы. Такое явление называется «соствязанием контактов».

Для придания определенности поведению переключательной схемы наряду с другими методами применяется введение гарантированных задержек времени на срабатывание и на отпускание тех или иных контактных реле. Существуют различные технические приемы построения электромагнитных контактных реле с задержками на срабатывание и отпускание. Такие задержки могут быть как регулируемы (устанавливаемыми), так и постоянными.

В настоящее время вместо электромагнитных контактных реле все чаще применяют их бесконтактные эквиваленты.

Гидравлические и пневматические релейные элементы. В ряде случаев при автоматизации производственных процессов в машиностроении оказывается целесообразным осуществлять непосредственное изменение направления тех или иных потоков жидкости или газа без организации логических электрических цепей. Это осуществляется гидравлическими или, соответственно, пневматическими релейными элементами.

Гидравлические аппараты, которые изменяют направление потока рабочей жидкости (масла) в двух или более линиях называются *гидрораспределителями*.

Схожесть некоторых физических свойств рабочих масел и воздуха отражается на схожести конструкций гидро- и пневмораспределителей. Гидро- и пневмоусилители можно подразделить на распределители давления и распределители расхода, распределители золотникового и струйного типов, распределители с использованием базового элемента типа сопло — заслонка, распределители клапанного типа, а также комбинированные.

Рис. 2.16. Классификация гидрораспределителей по способу управления



По характеру управляющего воздействия промышленные гидрораспределители классифицируются, как показано на рис. 2.16.

В ручных гидрораспределителях, когда нажатие осуществляется оператором, речь идет о *гидрокнопках*.

Электрогидравлические гидрораспределители, как правило, являются двухкаскадными, и электроуправляемым у них является лишь первый каскад.

Для целей автоматизации производственных процессов в машиностроении широко применяется модульный монтаж гидроаппаратуры на основе функционально, конструктивно и эксплуатационно законченных блоков.

В гидросистемах для целей автоматизации производственных процессов в машиностроении также используются такие элементы как фильтры и аккумуляторы, а также специальные средства технической диагностики.

В пневмоавтоматике к переключающим элементам относятся различного рода *пневмораспределители*, обратные пневмоклапаны, клапаны быстрого выхлопа, клапаны выдержки времени, а также логические элементы.

Классификация пневмораспределителей, используемых для автоматизации производственных процессов в машиностроении, приведена на рис. 2.17.

Муфты. Потоки энергии, используемые для целей автоматизации производственных процессов в машиностроении, могут быть не только электрическими, гидравлическими или пневматическими, но и механическими. В последнем случае для регулирования этих потоков используются устройства, называемые *муфтами*. Управляемые муфты в системах автоматизации производственных процессов в машиностроении служат для передачи движения от одного вала к другому в соответствии с сигналами управления.

Различают муфты с механической связью между ведущим и ведомым валами (большей частью фрикционные), а также индукционные и конденсаторные муфты.

Основными показателями работоспособности муфты являются максимальный передаваемый ею крутящий момент и теплостойкость. Для дополнительного увеличения коэффициента трения и передаваемого момента соприкасающиеся поверхности фрикционных полумуфт делают из специальных материалов. В сухих фрик-



Рис. 2.17. Классификация пневмораспределителей по способу управления

ционных муфтах обычно происходит трение стали или чугуна по накладкам из фрикционного материала на асбестовой основе или по металлокерамическим накладкам. Фрикционные детали муфт, работающих в масле, обычно делают из закаленной стали, трущейся по накладкам из фрикционной пластмассы или из металлокерамики.

В маломощных электроуправляемых фрикционных муфтах подвижные полумуфты обычно не имеют обмоток. Под действием магнитного поля неподвижной обмотки эта полумуфта, перемещаясь, входит во фрикционный контакт с другой полумуфтой.

Для передачи больших крутящих моментов применяют многодисковые муфты с подвижной катушкой управляющего электромагнита. У таких муфт площадь соприкосновения ведущей и ведомой части оказывается в несколько раз больше.

Наряду с дисковыми применяются конусные и цилиндрические обжимные фрикционные муфты. Это позволяет передавать с их помощью большие вращающие моменты. Однако такие муфты обладают значительными габаритными размерами и конструктивно достаточно сложны.

Зазор между полумуфтами иногда заполняют электромагнитным порошком. При включении муфты под действием магнитного поля зерна этого порошка должным образом ориентируются и связывают между собой полумуфты. Такой порошок состоит из зерен размером от 4 до 50 мкм и бывает сухим на базе графита или талька либо жидким с пропиткой силиконовыми или трансфор-

маторными маслами или фтористыми соединениями. Подобные муфты характеризуются большей надежностью и меньшей инерционностью. Их время срабатывания не превышает 20 мс. К их недостаткам следует отнести сложность конструкции, убыль ферромагнитного порошка во время эксплуатации, а также необходимость периодической смены этого порошка в среднем через 400...500 ч работы.

В электромагнитных муфтах ведущая и ведомая полумуфты образуют замкнутую магнитную систему. В асинхронных индукционных муфтах на одной из полумуфт закреплены электромагнитные полюсы с обмоткой возбуждения, называемой индуктором и питаемой постоянным током управления. На ответной полумуфте закреплена короткозамкнутая обмотка, аналогичная роторной обмотке асинхронного двигателя. При вращении индуктора, вследствие электромагнитного взаимодействия, аналогичного тому, который имеет место в асинхронном двигателе, ведомая полумуфта увлекается за ведущей.

Такая муфта способна передавать мощность от нескольких ватт до тысяч киловатт. Как и в асинхронных двигателях, момент в такой муфте передается только в том случае, если ведомая полумуфта вращается медленнее ведущей. Поскольку ведомая полумуфта всегда вращается медленнее ведущей, т.е. имеет место проскальзывание S , то их еще называют *муфтами скольжения*. Обычно $S = 0,03 \dots 0,05$. Следует учесть, что с ростом S падает КПД муфты.

Если момент нагрузки на муфту превышает некоторую пороговую величину, происходит то, что называется опрокидыванием муфты — ее ведомая полумуфта останавливается.

Логические элементы. Современные системы автоматизации производственных процессов в машиностроении часто требуют построения цепей, где реализуется достаточно сложная логика преобразования дискретных входных сигналов в выходные дискретные. Традиционно такое логическое преобразование осуществлялось с помощью релейно-контактных элементов. Однако в последнее время такое преобразование осуществляется с помощью дискретных логических компонентов транзисторных переключаемых схем, реализующих те или иные логические функции.

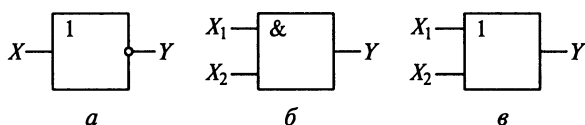


Рис. 2.18. Обозначения логических элементов:

а — инвертирующий элемент; *б* — элемент конъюнкции; *в* — элемент дизъюнкции

Принятые обозначения таких логических элементов показаны на рис. 2.18.

К числу таких логических элементов относятся:

- элемент инвертирования входного дискретного сигнала, эквивалентный размыкающему контакту, что показано на рис. 2.18, *а*;
- элемент конъюнкции (логического умножения) двух входных дискретных сигналов, эквивалентный последовательному соединению, что показано на рис. 2.18, *б*;
- элемент дизъюнкции (логического сложения) двух входных дискретных сигналов, эквивалентный параллельному соединению, что показано на рис. 2.18, *в*.

2.5. Триггерные и пересчетные устройства

Триггер — это типовая ячейка, играющая исключительно важную роль при построении различных переключающих схем и схем с памятью. Слово триггер в переводе с английского означает «курок» — спусковое устройство огнестрельного оружия. Поэтому схемы на триггерах называют также спусковыми схемами.

Статический триггер, наиболее широко применяемый в системах автоматизации производственных процессов в машиностроении, представляет собой двухкаскадный усилитель постоянного тока, охваченный глубокой положительной обратной связью. Это значит, что при малейшем изменении входного сигнала, ведущем к увеличению выходного сигнала, величина сигнала, поступающая на вход триггерного устройства за счет обратной связи, возрастет, что приведет к дальнейшему росту выходного сигнала и т.д. Процесс будет продолжаться лавинообразно, пока на выходе триггера не установится значение выходной величины, равное значению насыщения. Если затем выходная величина начнет уменьшаться, то это приведет к ее дальнейшему уменьшению. Этот процесс падения значения выходной величины также будет происходить лавинообразно, пока на выходе не установится ее нулевое значение. Переключение выходной величины со значения насыщения на нулевое и наоборот осуществляется «щелчком». Таким образом, триггер характеризуется наличием двух, а не одного, стабильных состояний на выходе.

Реализовать триггерную ячейку можно и на электромагнитных контактных реле. Однако в последнее время триггерная ячейка промышленно выпускается как типовой элемент систем автоматизации производственных процессов в машиностроении, будучи реализованной на транзисторных переключаательных схемах.

Принципиальная схема простейшего электронного триггера на двух транзисторах приведена на рис. 2.19, *а*, а принятое обозначение такой ячейки — на рис. 2.19, *б*.

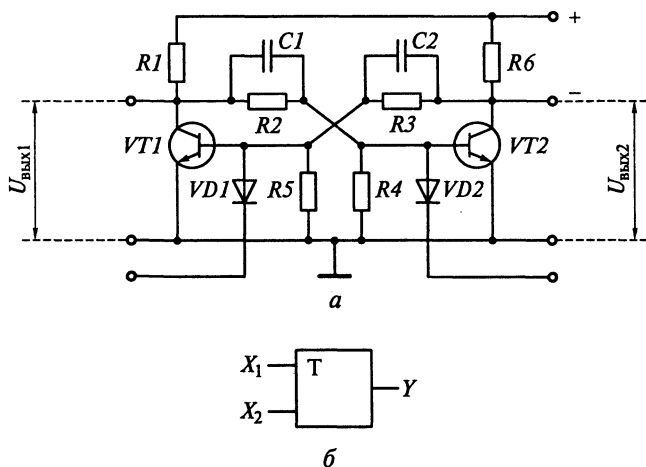


Рис. 2.19. Схема электронного триггера и обозначение триггерной ячейки: a — принципиальная схема электронного триггера; b — условное обозначение триггерного логического элемента

Схема, представленная на рис. 2.19, a , является симметричной с равными попарно сопротивлениями резисторов $R2$ и $R3$, $R1$ и $R6$, емкостями конденсаторов $C1$ и $C2$, одинаковыми транзисторами $VT1$ и $VT2$, а также одинаковыми диодами $VD1$ и $VD2$ и одинаковыми сопротивлениями резисторов $R5$ и $R6$. При подаче напряжения питания и при отсутствии входных сигналов триггер установится в одно из устойчивых состояний, причем для каждого реального триггера это состояние всегда будет одним и тем же. Это происходит потому, что даже при скачкообразном включении напряжения питания коллекторный ток транзисторов $VT1$ и $VT2$ не может увеличиться скачком вследствие наличия в схеме конденсаторов $C1$ и $C2$. Нарастание коллекторных токов транзисторов $VT1$ и $VT2$ происходит по-разному вследствие естественного разброса параметров используемых в схеме резисторов, емкостей, диодов и транзисторов. В результате для данного триггера коллекторный ток одного из транзисторов будет всегда при включении напряжения питания нарастать быстрее, чем коллекторный ток другого транзистора. Вследствие этого один транзистор будет открываться быстрее другого и напряжение на его коллекторе будет падать соответственно быстрее. Коллектор «опережающего» транзистора через соответствующий резистор связан с базой другого транзистора. Уменьшение напряжения на коллекторе этого транзистора приводит к уменьшению напряжения на базе другого транзистора. Это, в свою очередь, приведет к увеличению напряжения на коллекторе этого другого транзистора, к дальнейшему

увеличению напряжения на базе первого транзистора и к увеличению его коллекторного тока. Этот процесс будет протекать лавинообразно, так что один транзистор в результате подачи питания полностью откроется, а другой полностью закроется.

Для того чтобы изменить состояние триггера, необходимо на входы транзисторов подать отрицательный импульс напряжения. Ранее открытый транзистор при этом полностью закроется, а ранее закрытый транзистор — полностью откроется. Это новое состояние триггера также будет устойчивым, так как на базе открытого транзистора вследствие перекрестной обратной связи возникнет высокое (открывающее) напряжение, а на базе закрытого транзистора — низкое (запирающее) напряжение.

Такой триггер называется *статическим триггером* с отдельными входами. Эти два отдельных входа можно объединить и подавать импульс на общий вход рассматриваемой ячейки через разделительную последовательно включенную электрическую емкость. При подаче на емкость прямоугольного импульса можно считать, что изменение сигнала, поступающего на вход триггера, происходит только на фронтах импульса, а на горизонтальной верхней площадке этого импульса никаких изменений входного сигнала не происходит. Следовательно, при подаче прямоугольного импульса на общий вход триггера через разделительный конденсатор на базы обоих транзисторов поступают положительный импульс, соответствующий переднему фронту импульса, и отрицательный импульс, соответствующий его заднему фронту. Положительный импульс не оказывает никакого влияния на состояния обоих транзисторов. Отрицательный импульс, не меняя состояния открытого транзистора, инициирует процесс отпирания ранее закрытого транзистора. Но, начавшись, этот процесс приобретает лавинообразный характер, так что ранее закрытый транзистор полностью открывается, а ранее открытый транзистор полностью закрывается. Это и есть процесс переключения триггера, или, как говорят, «триггер перебрасывается».

Временная диаграмма работы триггера со счетным входом приведена на рис. 2.20.

Недостатком работы такого триггера является ее сравнительно небольшая выходная мощность. Поэтому непосредственно подключать к такому триггеру индицирующее устройство (например, светодиод или неоновую лампочку) либо какое-нибудь исполнительное устройство в большинстве случаев оказывается невозможным. На практике обычно подключают нагрузку через эмиттерный повторитель, построенный на полупроводниковом триоде. Это позволяет получать на выходе триггера более значительные рабочие токи.

Для возникновения и для снятия одного импульса на выходе триггера требуются два фронта импульса (передних или задних)

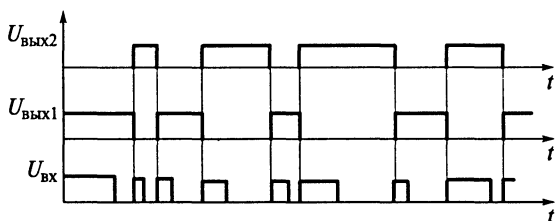


Рис. 2.20. Временная диаграмма работы триггера со счетным входом

на его входе. Следовательно, триггер является делителем на два для частоты импульсных сигналов, поступающих на его вход.

Если из триггерных ячеек построить цепочку, чтобы выход предыдущего триггера являлся входом последующего, и на счетный вход первого триггера подавать серию импульсов (унитарный код), то на его выходе импульсы будут появляться вдвое реже, располагаясь между передними (задними) фронтами входных импульсов.

Таким образом, комбинация состояний триггеров в такой цепочке будет представлять собой двоичную параллельную запись общего числа импульсов, поступивших на счетный вход первого триггера. Такой пакет дискретных значений напряжений может быть использован в дальнейшем в системах автоматизации производственных процессов в машиностроении.

Совокупность триггеров, предназначенная для хранения информации в виде параллельного двоичного кода, носит название *параллельного регистра*.

В таких регистрах некоторый обнуляющий сигнал сначала устанавливает все триггеры регистра в исходное (нулевое) состояние. Подача сигнала на шину, разрешающую запись числа в данный регистр, открывает все входные вентили (входные схемы И) и пропускает значения разрядов записываемого числа на входы соответствующих триггеров, так что соответствующие триггеры «взводятся». При отсутствии сигнала на шине, разрешающей запись, никакие изменения числа на входе регистра не влияют на состояния триггеров. Число, записанное и сохраненное в виде состояний триггеров, появляется на выходах регистра в момент подачи сигнала, открывающего выходные вентили (выходные схемы И). Одна строчка триггеров может быть использована для записи информации, поступающей из нескольких различных мест, а также для передачи ее нескольким другим устройствам. В этих случаях каждый триггер имеет несколько вентилях, соответственно на входе или на выходе, открываемых сигналом, определяющим эти места или устройства.

Для рассмотренной схемы регистра характерны три такта работы:

- обнуление (очистка памяти);
- запись информации;
- считывание информации.

Если формирование обнуляющего сигнала по каким-либо причинам оказывается затруднительным, применяется двухканальная (парафазная) запись информации. При таком способе записи входы обнуления используются только один раз для общего начального обнуления триггерной цепочки (например, после включения подачи питания). Перед каждым новым вписыванием информации специального обнуления не производится. Информация данного разряда и ее инверсия одновременно подаются при открытии входного вентиля записи на два различных входа триггера, устанавливая его в положение, определяемое значением регистрируемого числа.

Разрядными ячейками статических регистров чаще всего являются *синхронные триггеры*, т.е. такие триггеры, которые имеют специальный вход для синхронизирующего сигнала и изменяют свое состояние в моменты времени, определяемые подачей этого синхронизирующего сигнала.

Противоположностью им являются используемые в статических регистрах *асинхронные устройства*. В асинхронных устройствах изменения внутренних состояний и связанных с ними выходных сигналов вызываются непосредственно изменениями состояний входов. При этом «новое» состояние асинхронной схемы однозначно определяется «старым» ее состоянием и значением информации, подаваемой на вход триггерной схемы в данный момент.

Наряду с рассмотренными параллельными регистрами широко применяются такие типовые триггерные схемы, как *последовательные регистры*, чаще называемые *сдвиговыми* регистрами.

Сдвиговым, или последовательным, регистром (иногда употребляют термин «сдвигающий регистр») называется цепочка триггеров, построенная таким образом, что информация с каждого триггера в отличие от ранее рассмотренного параллельного регистра, где информация о состоянии каждого триггерного разряда могла поступать лишь на выход всего регистра, может передаваться соседнему триггерному разряду. Разрядные ячейки такого регистра представляют собой синхронные триггеры, переключаемые по фронту тактового сигнала.

Структурная схема такого устройства приведена на рис. 2.21, а, а временная диаграмма его работы при синхронизирующем сигнале c — на рис. 2.21, б. Регистрируемая входная информация подается в виде последовательности импульсов, развернутой во времени t , т.е. в унитарном коде, на вход X_0 регистра. Регистр предварительно обнуляется общим сбрасывающим сигналом. Этим сигналом может, в частности, являться синхронизирующий сигнал c

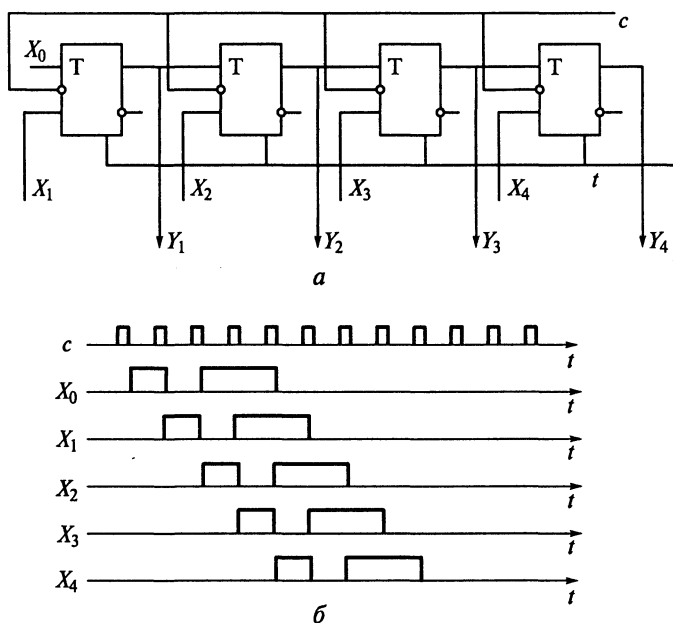


Рис. 2.21. Структурная схема и временная диаграмма сдвигового регистра на статических триггерах:

a — структурная схема сдвигового регистра; *б* — временная диаграмма работы сдвигового регистра на статических триггерах

при условии отсутствия каких бы то ни было импульсов на входе триггерного регистра. Информацию, если она подается в параллельном коде, можно также записать через входы $X_1 \dots X_4$, как и в случае уже рассмотренного параллельного регистра. В качестве выходов регистра используются выходы триггеров каждого разряда. Это означает, что считываемая величина также представляется параллельным двоичным кодом. При подаче тактового сигнала c состояние каждого триггера заносится в триггер, расположенный справа от него. Таким образом, число, имеющееся в регистре, сдвигается на один разряд вправо.

Существуют схемы сдвиговых регистров, в которых можно направлять выходы триггерных разрядов с помощью соответствующих вентилях (схем И) в соседние разряды, находящиеся либо справа, либо слева от данного триггерного разряда. Сдвиговые регистры, в которых можно осуществлять сдвиг записанного в них числа как вправо, так и влево, называются *реверсивными*.

Триггерные ячейки, соединенные в цепочки, подсчитывают в параллельном коде общее число импульсов, поступивших на вход цепочки. Задача счета импульсов имеет большое значение для переработки информации в системах автоматизации производствен-

ных процессов в машиностроении. Поэтому такая задача заслуживает специального рассмотрения.

Вообще, пересчетной схемой или просто счетчиком называется устройство, служащее для подсчета импульсов. Счетчики подразделяются на *параллельные* и *последовательные*. В параллельных двоичных счетчиках основным элементом каждого разряда является триггер со счетным входом, а синхронизирующий сигнал является общим для триггеров всех разрядов. В последовательных счетчиках элементами каждого разряда являются одинаковые статические триггеры, соединенные так, что выход предыдущего триггера является входом последующего триггера, а выходами всего счетчика являются выходы триггеров каждого разряда, образующие двоичное число, равное общему числу импульсов, поступивших на вход счетчика.

Такая схема является статической лишь в конечном счете, когда в ней заканчиваются все переходные процессы, на которые нужно отвести некоторое, характерное для данной схемы, время.

Однако в системах автоматизации производственных процессов в машиностроении быстроедействие электронной схемы обычно не является лимитирующим фактором, так что возможно применение такого простейшего счетчика в сочетании с соответствующими считывающими схемами.

Счетчики также подразделяются на *суммирующие* и *вычитающие*.

Суммирующий счетчик считает в прямом направлении, т. е. после поступления на его вход очередного импульса записанное в нем число увеличивается на 1.

Вычитающий счетчик считает в обратном направлении, т. е. после поступления на его вход очередного импульса записанное в нем число уменьшается на 1. Практически это можно осуществлять путем подачи на вход последующего триггера инверсии выхода предыдущего триггера, а не самого этого выхода. Сигнал состояния триггера по-прежнему следует снимать с самого его выхода, а не с его инверсии.

Отдельную группу счетчиков составляют устройства с выходным кодом «1 из n », называемые *кольцевыми счетчиками*.

При использовании натурального двоичного кода емкость счетчика равняется $2^K - 1$, где K — число разрядов этого счетчика. Однако в практике построения схем переработки информации часто оказывается необходимым осуществлять счет по модулю, не являющемуся целой степенью двойки. В этом случае говорят об устройствах с вынужденным скачком в коде (укороченных устройствах). Такие устройства также называют счетчиками с принудительным насчетом.

Особое значение в схемах автоматизации имеют кольцевые счетчики емкостью 10. Они называются *десятичными*, или *декадными*.

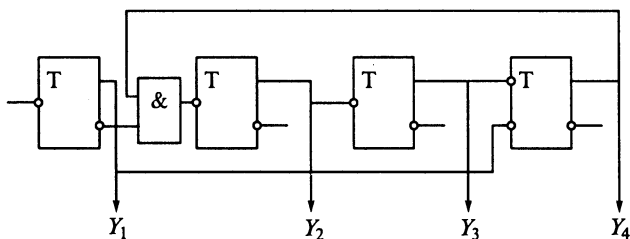


Рис. 2.22. Схема суммирующего декадного счетчика

Схема последовательного суммирующего декадного счетчика на статических триггерах, работающего в двоичном коде 8421, приведена на рис. 2.22.

В этом счетчике между триггерами 1-го и 2-го разрядов устанавливается элемент конъюнкции, входами которого являются инверсный выход триггера 1-го разряда и выход триггера последнего 4-го разряда, который также является выходом Y_4 самого старшего разряда этой декады десятичного счетчика. Выход элемента конъюнкции подключен к счетному входу триггера 2-го разряда данной декады.

Декады последовательного кольцевого суммирующего десятичного счетчика можно соединять между собой таким образом, чтобы выход старшего разряда предыдущей декады был входом младшего разряда последующей декады. В этом случае в нескольких таких декадах окажется записанным электрический код десятичного числа, равного общему количеству импульсов, поступивших на счетный вход младшего разряда первой декады.

Используя схемы суммирующего и вычитающего счетчиков, можно построить *реверсивный счетчик*, способный работать в обоих этих режимах. Будет ли работать в данный момент рассматриваемый реверсивный счетчик на сложение или на вычитание, определяется двояким образом. В одном случае счетчик имеет один вход для подачи подсчитываемых импульсов и два входа для подачи знаков действия, сигналы на которых определяют, будет выполняться для данного импульса суммирование или вычитание. В другом варианте счетчик имеет два разных счетных входа. Импульсы, поступающие по одному из них, суммируются, а по другому — вычитаются.

2.6. Преобразователи кодов

Часто возникает необходимость перевода кода «1 из n » в другие коды, более удобные для преобразования и использования, такие

как двоичный или двоично-кодированный десятичный коды. Процесс перевода кода «1 из n » в обычный двоичный код называют *кодированием* (шифрацией), а обратный перевод двоичного кода в код «1 из n » — *декодированием* (дешифрацией). Двоичный код называется также «код 8421», поскольку именно таковы относительные веса его соседних разрядов.

Известно, что методы прямого кодирования и декодирования практически осуществимы лишь при небольшом числе входов и внутренних состояний схемы, поскольку они сопровождаются полным перебором и рассмотрением всех возможных комбинаций входов и внутренних состояний схемы. Сложное же устройство с большим числом входных и выходных сигналов и внутренних состояний рассматривать как единое целое затруднительно, поэтому его обычно делят на меньшие части, схемно, конструктивно и эксплуатационно законченные. Эти части обычно являются *функциональными блоками*, или *субблоками*. В большинстве случаев любое устройство может быть собрано из готовых типовых субблоков со стандартными функциями. Это широко применяется при построении используемых в системах автоматизации устройств с высокой и средней степенью интеграции. К числу таких типовых субблоков относятся *кодирующие* и *декодирующие устройства*, называемые также *шифраторами* (кодерами) и *дешифраторами* (декодерами).

Наибольшее распространение получил такой шифратор, где входным сигналом является сигнал одной из десяти шин (код «1 из 10»), поступающий, например, от контактов кнопок или путевых выключателей. Этот код преобразуется в код тетрады одного из двоично-десятичных кодов, т.е. в двоичный код соответствующей десятичной цифры, для чего достаточно (с избытком) четырех двоичных разрядов, называемых тетрадой. Одноступенчатые комбинационные шифраторы называются также простыми. Двухступенчатые схемы — это такие схемы, когда выходы простых шифраторов части входных каналов используются в качестве входов других простых шифраторов, осуществляющих окончательное кодирование всех каналов — называются также оптимальными.

Обычно схемы шифрации реализуются на элементах дизъюнкции с отрицанием (инверсией). Аналогично можно построить и схемы шифраторов, реализованные на элементах конъюнкции с отрицанием.

Обратной задачей является дешифрация, т.е. выбор в ответ на подаваемый на входы устройства дешифрации код той или иной шины на выходе этого дешифратора. Подавая на входы дешифратора тот или иной код, можно осуществить выполнение требуемой исполнительной команды, например зажечь сигнальную лампочку, включить или выключить электродвигатель и т.д.

Дешифратор представляет собой комбинационную схему с числом входов, на которые поступает параллельный код в виде паке-

та сигналов, меньшим, чем число выходов этого дешифратора. Каждый из выходов дешифратора соответствует своему сочетанию кодовых сигналов на его входе.

Дешифратор, который использует полные конъюнкции входных сигналов, называется *полным*.

Дешифратор, в котором некоторые конъюнкции входных сигналов не используются, называется *укороченным*.

Применяемая в дешифраторах схема конъюнкции двух входов X_1 и X_2 изображена на рис. 2.23. В соответствии с этим сигнал Y на выходе схемы окажется равным условной единице только в том случае, когда на резисторе R не будет никакого падения напряжения. Для этого требуется, чтобы ток через этот резистор отсутствовал, т. е. чтобы оба диода на схеме оказались запертыми, что имеет место лишь тогда, когда на оба диода подаются запирающие напряжения, равные условным единицам. Это и значит, что выходной сигнал такой схемы будет представлять собой конъюнкцию входных сигналов, т. е. их логическое умножение. Надо сказать, что в принципе можно увеличивать число входов такой схемы и, следовательно, увеличивать число аргументов в осуществляемой этим узлом конъюнкции.

Структурная схема двухступенчатой матричной дешифрации приведена на рис. 2.24.

В соответствии с рис. 2.24 единичный сигнал на выходе всей матричной схемы появится только в том случае, когда совпадут сигналы в разрядах тех двоичных чисел, которые подаются на входы по осям дешифрирующей матрицы.

Если входами дешифрирующей матрицы являются параллельные двоичные счетчики, то выходная шина выбирается в соответствии с числами, записанными в этих счетчиках. Такой дешифратор называется *координатным*.

Явление неоднозначности отсчета при использовании двоичного кода имеет место всегда. Дело заключается в том, что различного рода задатчики кодов в реальности могут быть статическими только после окончания переходного процесса, пусть и весьма короткого, а во время этого могут возникать различные ошибочные коды. Если во время такого переходного процесса будет подан синхрони-

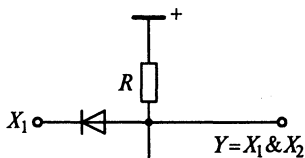


Рис. 2.23. Схема конъюнкции на диодах

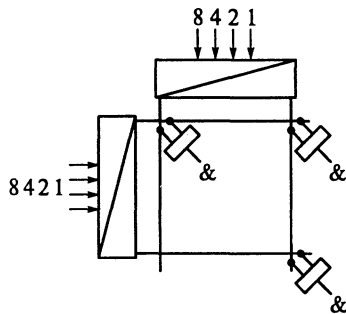


Рис. 2.24. Структурная схема матричной дешифрации

зирующий тактовый сигнал, то в последующем устройстве, например в регистре с параллельным вводом, будет записан именно один из этих ошибочных кодов. Использование в качестве последующих блоков асинхронных устройств, не нуждающихся в синхронизирующих сигналах, не приводит к решению проблемы, так как во время переходного процесса неверные значения будут возникать уже на выходе такого блока.

Радикальным решением здесь является использование специальных кодов, которые предусматривают изменение кодовых значений при переходе от одного соседнего числа к другому только в одном разряде. Кодов, осуществляющих такие единичные переходы, может быть разработано много, но наибольшее распространение вследствие простоты своей структуры и легкости последующего преобразования в обычный двоичный код, удобный для выполнения арифметических операций, получил код, называемый *кодом Грея*, или *рефлексным кодом*.

Код Грея (ГК) наряду с обычным двоичным кодом (ДК) для всех десятичных цифр (для четырех двоичных разрядов, образующих одну тетраду) приведен в табл. 2.1.

Но при представлении двоично-кодированных десятичных чисел, т. е. таких чисел, когда двоичным кодом изображается не все число в целом, а каждая цифра в его десятичной записи, обычный код Грея становится неудобным. Это объясняется тем, что при переходе, например, от 9 к 10 в двоично-кодированном десятичном коде происходит изменение трех двоичных разрядов. Между тем двоично-кодированные десятичные числа широко применяются при клавишном вводе информации, так как тогда обычные десятичные цифры могут вводиться оператором последовательно, цифра за цифрой. Поэтому для ввода двоично-кодированного десятичного кода часто применяют модифицированный код Грея с избытком 3, т. е. такой код Грея, каждая кодовая комбинация которого смещена на три позиции. Модифицированный таким образом код Грея приведен в табл. 2.2.

При переходе от одной десятичной декады к последующей в случае использовании модифицированного кода Грея изменения происходят только в нечетных декадах. Это соответствует переходу от записи 0010 1010 к записи 0110 1010.

Самым простым из методов контроля кодирования является *контроль по четности*, или *контроль по паритету*. Суть этого метода состоит в том, что к информационным двоичным разрядам, составляющим тот или иной код, всегда добавляется некоторая кодовая комбинация нулей и единиц с таким расчетом, чтобы общее число единиц в результирующей комбинации было всегда, например, четным. Тогда устройство, считывающее информацию, проверяет общее число единиц во введенной информации, что позволяет обнаруживать случаи с искажением информации, если

Таблица 2.1

Десятичная цифра	Двоичный код	Код Грея
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101

Таблица 2.2

Десятичная цифра	Двоичный код	Модифицированный код Грея
0	0000	0010
1	0001	0110
2	0010	0111
3	0011	0101
4	0100	0100
5	0101	1100
6	0110	1101
7	0111	1111
8	1000	1110
9	1001	1010

только такое искажение не происходило одновременно в двух или вообще в четном числе двоичных разрядов. Однако такое одновременное искажение информации является маловероятным.

Другой из часто встречающихся методов построения помехоустойчивых кодов — это применение *кодов с постоянным индексом*. Под постоянным индексом понимается постоянное, заранее определенное число единиц в кодовой записи числа. Очень широко применяется код с постоянным индексом, называемый «1 из n », когда в n разрядах может существовать только одна 1. Например, команды управления движением (три кнопки: «влево», «вправо» и «стоп») кодируются по трем разным шинам 100, 001 и 010, что может быть проконтролировано на наличие в этих шинах только одной 1. Между тем для экономии числа шин (числа двоичных разрядов) эти же команды могут быть закодированы более экономным образом с использованием только двух шин, например так: 01, 10, 11. Однако в этом случае нельзя контролировать единственность введенной 1.

Другим часто применяемым помехоустойчивым кодом является код «2 из 5», который является одной из разновидностей двоичного кодирования десятичных чисел. Этот код представлен в табл. 2.3.

Коды с контролем четности или с постоянным индексом являются наиболее простыми помехоустойчивыми кодами. Когда вероятность нарушений ввода или передачи информации велика либо когда не допускается даже малейшее искажение принимае-

Десятичная цифра	Код «2 из 5»	Десятичная цифра	Код «2 из 5»
0	00011	5	01010
1	00101	6	10010
2	01001	7	01100
3	10001	8	10100
4	00110	9	11000

мой информации, применяются специальные *коды с диагностированием и локализацией ошибок*. Это дает возможность организовать самоисправляющееся кодирование.

Преобразователи любого кода в любой другой код, а не только в код «1 из n », называются *трансляторами*, или *преобразователями, кодов*.

В принципе любой транслятор кодов можно построить на базе дешифратора исходного кода, сочетающегося с шифратором полученного промежуточного результата в заданный выходной код. Однако это в большинстве случаев не является оптимальным ни с точки зрения числа используемых элементов, ни с точки зрения числа совершаемых операций.

Поэтому для типовых трансляторов кодов существуют отработанные решения, которыми и следует пользоваться.

Например, для преобразования кода Грея, в котором целесообразно осуществлять ввод информации, в двоичный код, в котором лучше выполнять дальнейшие, например арифметические, операции с этой информацией, существуют следующие соотношения:

$$Y_0 = X_0;$$

$$Y_1 = X_1 \oplus Y_0;$$

$$Y_2 = X_1 \oplus Y_1.$$

Например, в коде Грея $X_0 = 00$; $X_1 = 01$; $X_2 = 11$.

Тогда в двоичном коде

$$Y_0 = 00; Y_1 = 01 \oplus 00 = 01; Y_2 = 01 \oplus 01 = 10.$$

Для любого разряда, начиная со второго (младший разряд считаем нулевым), справедливо итерационное соотношение

$$Y_k = X_k \oplus Y_{k-1}.$$

Наоборот, для преобразования двоичного кода в код Грея справедливы соотношения:

$$Y_0 = X_0;$$

$$Y_1 = X_1 \oplus X_0;$$

$$Y_2 = X_1 \oplus X_2.$$

Например, в двоичном коде $X_0 = 00$; $X_1 = 01$; $X_2 = 10$.

Тогда в коде Грея $Y_0 = 00$; $Y_1 = 01 \oplus 00 = 01$; $Y_2 = 01 \oplus 10 = 11$.

Для любого разряда, начиная со второго (младший разряд считаем нулевым), можно использовать итерационное соотношение

$$Y_k = X_{k-1} \oplus X_k.$$

Для избирательного переключения каналов используются типовые устройства, называемые *коммутаторами*.

Коммутаторы принято подразделять на две группы:

- 1) селекторы (демультиплексоры, называемые в теории переключательных схем также распределителями);
- 2) коллекторы (мультиплексоры).

Селекторы служат для передачи входного сигнала на один из нескольких выходных путей, причем номер (адрес) этого выходного пути определяется с помощью специального сигнала.

Коллекторы передают на свой единственный выход сигналы с одной из многих входных шин, выбираемой в соответствии со специальным сигналом.

Все названные преобразователи описывались применительно к использованию параллельных кодов. Однако их можно перестроить и для работы с последовательными кодами. Особенно просто перейти от параллельного кода к последовательному, если для описания данного преобразователя использовались итеративные соотношения.

Контрольные вопросы

1. На какие группы подразделяются процессы переработки информации в машиностроении?
2. Что такое отрицательная и положительная обратные связи и каковы их влияния на характеристики компонентов?
3. Что такое фильтры в системах автоматизации и какие существуют их разновидности?
4. Что такое цифроаналоговые преобразователи и аналого-цифровые преобразователи?
5. В чем заключается процедура квантования?
6. В чем состоит принцип «суммирования с весами» при преобразовании кода числа в аналоговую величину и что такое «лестница сопротивлений»?
7. Дайте определение коэффициента усиления и логарифмического коэффициента усиления.
8. Что такое КПД усилителя?

9. Что приводит к фазовым искажениям, вносимым усилителем?
10. Что такое чувствительность, динамический диапазон, частотная характеристика и полоса пропускания усилителя?
11. Что такое гармонические и импульсные усилители?
12. Что характерно для усилителей постоянного и переменного сигналов?
13. Что характерно для резонансных и полосовых усилителей?
14. Как устроен простейший электронный усилитель?
15. Какие существуют разновидности гидро- и пневмоусилителей?
16. Как работает магнитный усилитель и каковы его основные достоинства и недостатки?
17. Что такое электромашинный усилитель с поперечным полем?
18. Что такое компенсация в электромашинном усилителе?
19. Что называется триггерной схемой?
20. Что называется параллельным, а что последовательным кодом?
21. Какие схемы называются синхронными, а какие асинхронными?
22. Что такое пересчетные схемы?
23. Что такое кольцевой счетчик?
24. Что такое сдвиговой регистр?
25. Что такое шифратор и дешифратор?
26. Для чего в машиностроении применяется двоично-кодированный десятичный код?
27. Что такое код с постоянным индексом?
28. Что такое код Грея?
29. Как производится преобразование кода Грея в обычный двоичный код и обратно?
30. Что такое контроль по паритету и каковы его основные достоинства и недостатки?

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ИМ УСТРОЙСТВА

3.1. Общие требования к исполнительным механизмам в системах автоматизации

Исполнительные механизмы в системах переработки и использования технологической информации предназначены для непосредственного воздействия на регулируемый процесс или через регулирующий орган.

Исполнительные механизмы обязательно содержат исполнительные серводвигатели различных типов и различной физической природы. Кроме того, содержат также различные датчики, устройства усиления и переработки информации, переключательные устройства и устройства обратной связи.

Исполнительные механизмы или сервоприводы в общем случае включают в себя цепи усиления, переключатели и исполнительные двигатели.

Исполнительные механизмы. По виду воздействия на состояние системы автоматизации исполнительные механизмы принято подразделять на силовые и параметрические.

Силовые исполнительные механизмы создают на своем выходе силу или момент, которые однозначно определяют соответствующее положение рабочего органа.

Параметрические исполнительные механизмы служат для изменения параметров, характеризующих данный рабочий орган.

Основными определяющими характеристиками исполнительных механизмов являются:

- быстродействие;
- точность;
- рабочий диапазон;
- полоса рабочих частот;
- максимальная полезная мощность;
- максимальная и номинальная нагрузки;
- пусковая и рабочая нагрузки;
- мощность, необходимая для управления;
- коэффициент полезного действия;
- ресурс работы.

Если говорить о механических перемещениях, то этим требованиям в наибольшей мере отвечают гидроприводы (поступательного, вращательного и поворотного движений). Там, где требуется особо высокое, «шелчковое», быстродействие, применяются пневматические и пневмоэлектрические приводы.

В электроприводах вспомогательных механизмов используют двух- и трехфазные асинхронные нерегулируемые двигатели, а также шаговые двигатели (ШД) и двигатели постоянного тока.

В каждом конкретном случае автоматизации при выборе варианта исполнительного механизма разработчик устанавливает свои приоритеты для тех или иных перечисленных факторов.

Сервоприводы. Сервоприводы принято подразделять на приводы с поступательным и вращательным движением. Сервоприводы с вращательным движением, в свою очередь, принято подразделять на сервоприводы с постоянной или пропорциональной скоростями.

При конструировании или выборе сервоприводов целесообразно использовать один какой-либо источник энергии: заводские электросеть и пневмосеть, а также применять управляющие воздействия на сервопривод какой-либо одной формы, т. е. либо электрические, либо гидравлические, либо пневматические. Однако это не всегда практически удается. Именно этим и объясняется широкое распространение различного рода комбинированных сервоприводов: электрогидравлических, электропневматических и пневмогидравлических.

Выходным параметром исполнительных устройств в технологическом оборудовании машиностроительных производств, как правило, является перемещение того или иного рабочего исполнительного органа. По характеру перемещения, создаваемого исполнительным устройством, все эти устройства могут быть подразделены на приводы поступательного, вращательного или поворотного движения.

В зависимости от физической природы используемой при этом энергии каждое из названных ранее исполнительных устройств может быть электрическим, гидравлическим или пневматическим. Электрические исполнительные устройства, в свою очередь, подразделяются на исполнительные устройства, использующие электрические серводвигатели, и исполнительные устройства, использующие электромагниты.

Соответствующая классификация исполнительных устройств приведена на рис. 3.1.

На рис. 3.1 соединение общей горизонтальной линией различных вертикальных классификационных линий обозначает, что данные исполнительные устройства могут быть всех указанных типов.

Для описания свойств любого серводвигателя, независимо от его физической природы, используются следующие характеристики:



Рис. 3.1. Классификация исполнительных устройств схем автоматизации

1) *рабочая характеристика* серводвигателя в случае вращательного движения представляет собой зависимость оборотов двигателя n и полезного момента M на валу двигателя от полезной мощности P этого двигателя ($n_{\text{ном}}$ и $P_{\text{ном}}$ — соответственно номинальные обороты и мощность). Рабочая характеристика серводвигателя в случае поступательного движения представляет собой зависимость скорости движения и тягового усилия от полезной мощности P этого двигателя;

2) *механическая характеристика* серводвигателя в случае вращательного движения определяет зависимость оборотов двигателя n от развиваемого им момента M при различных значениях параметра, определяющего его обороты, например для электродвигателя от напряжения питания. В семействе механических характеристик двигателя эта величина является параметром. Механическая характеристика серводвигателя в случае поступательного движения определяет зависимость скорости двигателя от развиваемого им полезного тягового усилия при различных значениях параметра, определяющего его скорость, например для гидропривода даются значения скорости двигателя в зависимости от развиваемого им полезного тягового усилия при различных значениях расхода питающей рабочей жидкости;

3) *регулирующая характеристика* серводвигателя в случае вращательного движения определяет зависимость оборотов, развиваемых двигателем, от той величины, изменением которой определяют обороты этого двигателя. Регулирующие характеристики двигателя также представляют собой семейство кривых, в котором параметром является величина нагрузки. Регулирующей величиной, например, для электродвигателей может являться напряжение U , подаваемое на якорь двигателя постоянного тока, либо ток его обмотки возбуждения, а нагрузка характеризуется под-

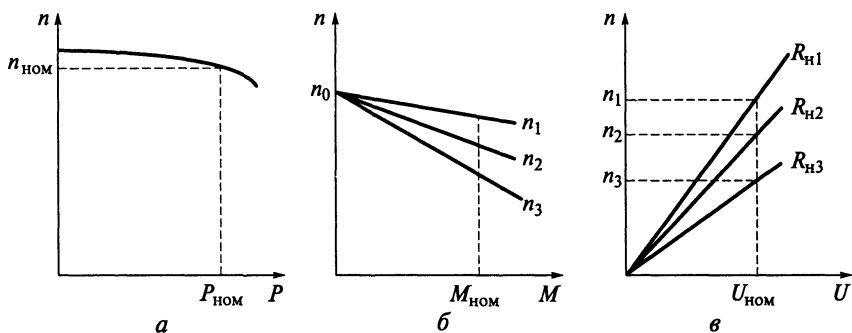


Рис. 3.2. Характеристики двигателей вращательного движения:

a — рабочая характеристика; *б* — механическая характеристика; *в* — регулировочная характеристика

ключаемым к электродвигателю сопротивлением R_{H} . Регулировочная характеристика серводвигателя в случае поступательного движения определяет зависимость скорости, развиваемой двигателем, от той величины, изменением которой задают скорость этого двигателя.

Регулировочные характеристики двигателя также представляют собой семейство кривых, в котором параметром является величина нагрузки.

Примеры характеристик для случая вращательного движения приведены на рис. 3.2.

На рис. 3.2, *a* изображена рабочая характеристика, на рис. 3.2, *б* — механическая характеристика, а на рис. 3.2, *в* — регулировочная характеристика.

3.2. Управляемые исполнительные электродвигатели постоянного тока

Электродвигатели постоянного тока используются в качестве базовых при построении самых различных электроприводов. Принципиально электродвигатели постоянного тока состоят из статора с обмоткой возбуждения, к которой подводится постоянное напряжение, и якоря, называемого иначе ротором, со своей обмоткой, к которой через щетки и коллектор также подводится постоянное напряжение.

Управление скоростью вращения вала такого электродвигателя принципиально можно производить либо изменением тока обмотки возбуждения при неизменном напряжении на якоре, либо изменением напряжения на якоре при неизменном токе обмотки возбуждения, либо и тем, и другим.

При установившемся режиме работы такого электродвигателя почти вся подводимая к нему электрическая энергия, за исключением потерь на трение, превращается в механическую работу. Однако при пуске двигателя, когда скорость вращения его якоря близка к нулю, комплексное сопротивление цепи якоря мало и через якорь течет большой пусковой ток. Он может вызвать перегрев обмотки якоря, а также ведет к возникновению, пусть и кратковременному, большого механического момента на валу, который можно рассматривать как удар. Чрезмерно большой пусковой ток может также вызвать повышенное искрение между коллектором и щетками.

Поэтому для пуска таких двигателей применяются специальные схемы, автоматически обеспечивающие постепенный рост тока в обмотке якоря по мере роста скорости его вращения. Суть работы таких схем заключается в том, что последовательно с цепью обмотки якоря при малой скорости его вращения, когда его комплексное сопротивление еще мало, подключаются ограничивающие омические сопротивления, которые по мере разгона якоря и повышения его комплексного сопротивления, а значит, и падения напряжения на нем автоматически шунтируются.

Для уменьшения инерционности регулируемых электродвигателей постоянного тока, используемых в схемах автоматизации, применяют якорь уменьшенного диаметра при увеличении его длины, что ведет к уменьшению механического момента инерции такого якоря. В последнее время в таких электродвигателях применяют также печатные роторы, т.е. плоские роторы, полученные из фольгированного материала методом травления.

Положительными особенностями регулируемых электродвигателей постоянного тока являются:

- большой вращающий момент, развиваемый при сравнительно небольших габаритных размерах;
- широкий диапазон регулирования скорости вращения;
- большой вращающий момент при пуске;
- высокий КПД, достигающий 90 %.

К недостаткам таких электродвигателей надо отнести следующие:

- износ коллектора, обусловленный механическим трением и электрической эрозией;
- необходимость ухода и наблюдения за коллектором и щетками все время эксплуатации такого электродвигателя;
- невысокие безотказность и долговечность;
- излучение электромагнитных помех, обусловленное искрением между щетками и коллектором;
- сравнительно большая масса и инерционность якоря, что ведет к снижению быстродействия такого электродвигателя.

Электродвигатели постоянного тока широко используются в схемах автоматизации, так как они позволяют плавно регулиро-

вать обороты, получать практически любые скорости вращения и высокие вращающиеся моменты, а также могут достаточно просто реверсироваться.

Конструктивно статор электродвигателя постоянного тока представляет собой корпус цилиндрической формы с закрепленными на ней *полюсами*. Эти полюсы для улучшения формы создаваемого магнитного поля заканчиваются *полюсными наконечниками*. Полюсы статора охватывает *статорная обмотка*. В электродвигатель постоянного тока также входит сердечник ротора, напрессованный на ось электродвигателя. *Обмотка ротора* состоит из отдельных секций, концы которых подсоединены к изолированным друг от друга медным пластинам *коллектора*. Напряжение постоянного тока подается на секции роторной обмотки через коллектор, к которому прижимаются *щетки* (обычно графитовые или медно-графитовые).

В результате взаимодействия магнитного потока статора с током ротора возникает момент, заставляющий ротор вращаться с соответствующей угловой скоростью.

Ток в статорной обмотке называется также *током возбуждения*. Часто магнитный поток статора создается не электромагнитами, а постоянными магнитами. Тогда величина вращающего момента определяется только напряжением обмотки ротора. Для улучшения динамических качеств электродвигателей постоянного тока разработаны специальные конструкции регулируемых электродвигателей с малоинерционным ротором традиционной конструкции и печатным ротором, когда для создания роторных обмоток используется технология травления фольгированной плоской изоляционной подложки.

Обмотка возбуждения может запитываться от отдельного источника напряжения, в таком случае говорят, что имеет место независимое возбуждение. Она может также запитываться от того же источника, что и роторная обмотка, причем может включаться с нею последовательно, параллельно или последовательно-параллельно.

Обороты двигателя постоянного тока можно регулировать одним из следующих способов:

- изменение напряжения питания;
- изменение активного сопротивления в цепи якоря;
- изменение магнитного потока статора, пропорционального току статора;
- изменение действующего (за период) значения силы тока якоря в случае питания обмотки якоря импульсами переменной ширины (широотно-модулированными импульсами).

Регулирование изменением напряжения питания осуществляется либо за счет питания от специального генератора, выходное напряжение которого можно плавно изменять, либо при помощи

регулируемого делителя напряжений, либо за счет использования изменяющегося выходного напряжения усилителя. При неизменном токе возбуждения обороты электродвигателя будут тем больше, чем больше напряжение питания электродвигателя. Вращающий момент, развиваемый электродвигателем, остается при этом постоянным.

Можно также осуществлять регулирование скорости вращения электродвигателя постоянного тока путем изменения сопротивления цепи якоря. Однако при этом значительная часть мощности теряется на нагрев регулировочного реостата.

Регулирование оборотов двигателя за счет использования регулировочных реостатов в цепи обмоток возбуждения является более экономичным. Интересно, что при неизменном напряжении питания данного электродвигателя постоянного тока обороты электродвигателя будут тем больше, чем меньше ток в обмотке его возбуждения. Это объясняется тем, что для генерации ЭДС, компенсирующей напряжение питания, при меньшей величине магнитного потока, создаваемого током обмотки возбуждения, требуется за единицу времени «ометать» обмоткой ротора большую площадь. Это и значит вращаться с большей угловой скоростью. Развиваемая электродвигателем при этом мощность остается постоянной, но развиваемый им вращающий момент уменьшается обратно пропорционально оборотам электродвигателя.

Импульсный способ регулирования оборотов. Наибольшее распространение, особенно в устройствах автоматизации, получил импульсный способ регулирования оборотов. Для управления двигателями малой мощности используются транзисторные схемы, изменяющие длительность импульсов тока, а для двигателей средней и большой мощностей применяются тиристорные схемы.

Тиристор представляет собой газонаполненный электронный триод или функционально аналогичный ему полупроводниковый триод, у которого на сетку и анод (а в случае полупроводникового триода — на базу и коллектор) подаются периодические, чаще всего гармонические колебания. После того, как в результате подачи на сетку или базу газонаполненный (полупроводниковый) триод отопрется («зажжется»), дальнейшее снятие сигнала с сетки (базы) не приведет к запираению триода. Он останется открытым до следующей полуволны анодного (коллекторного) напряжения. Таким образом, длительность импульса тока, протекающего через этот триод, будет однозначно определяться сдвигом фазы сеточного напряжения по отношению к анодному напряжению (в случае использования полупроводникового тиристора, сдвигом фазы напряжения базы по отношению к коллекторному напряжению).

Параметры схемы следует выбирать так, чтобы за счет включения в цепь якоря последовательной катушки индуктивности и па-

раллельного конденсатора (т.е. использования фильтра переменной составляющей) и за счет применения многофазных тиристорных схем обеспечить величину пульсации напряжения питания двигателя в пределах 5... 10 %. При соблюдении такой величины пульсации работа электродвигателя практически не отличается от его работы при постоянном напряжении.

Следящие электроприводы. Область применения следящих электрических приводов в станкостроении и, вообще, в технологическом оборудовании механической обработки особенно расширилась после появления высокомоментных электродвигателей постоянного тока с мощными постоянными магнитами, изготавливаемыми из новых магнитных сплавов, обычно получаемых методами порошковой металлургии, а также электродвигателей постоянного тока с малоинерционным ротором.

Регулируемые электродвигатели постоянного тока в следящем приводе охватываются отрицательной обратной связью по скорости вращения, реализуемой, как правило, с помощью *тахогенератора*.

Тахогенератор представляет собой микромашину постоянного тока с независимым возбуждением и является генераторным датчиком оборотов, поскольку вырабатываемое им напряжение пропорционально его скорости вращения. Тахогенератор обычно устанавливается соосно с электродвигателем, обороты которого он измеряет.

Отрицательная обратная связь по скорости вращения приводит к тому, что при изменении момента сопротивления (нагрузки) M_c обороты электродвигателя постоянного тока должны будут изменяться лишь незначительно. В самом деле, если обороты электродвигателя начнут снижаться, то это приведет к снижению напряжения на выходе тахогенератора и к уменьшению величины напряжения, вычитаемой из напряжения, поступающего на вход усилителя, питающего электродвигатель. Это значит, что напряжение на выходе этого усилителя автоматически вырастет и регулируемый электродвигатель будет запрашиваться большим напряжением, что и должно скомпенсировать возрастание M_c . Процесс повышения напряжения, питающего электродвигатель, будет продолжаться до тех пор, пока не перестанут снижаться обороты этого электродвигателя.

В следящих приводах подач осуществляется также отрицательная обратная связь не по скорости, а по угловому положению выходного вала привода, например с помощью датчика типа резольвера, работающего в трансформаторном режиме. Выходной сдвиг фазы резольвера с помощью тиристорного преобразователя воздействует на широтно-импульсное модулированное напряжение, поступающее на вход регулируемого электродвигателя постоянного тока, что, как мы уже видели, приводит к регулирова-

нию его оборотов. Это способствует точному позиционированию данного привода подач.

В целом следящие электроприводы постоянного тока с отрицательными обратными связями по скорости и положению обеспечивают точно дозированное перемещение рабочего исполнительного органа с заданной скоростью, с достаточно большим усилием и в малой зависимости от испытываемых нагрузок, которые могут изменяться непредсказуемым случайным образом. Это особенно важно для тяжелых станков и для станков с числовым программным управлением.

3.3. Электродвигатели переменного тока

Принцип действия электродвигателей переменного тока заключается в использовании взаимодействия вращающегося магнитного поля, создаваемого переменным током в обмотках неподвижной части электродвигателя, т.е. его статора, с токами, индуцируемыми этим током в обмотках подвижной части электродвигателя, т.е. в его роторе.

Электродвигатели переменного тока, у которых частота вращения ротора совпадает с частотой вращения магнитного поля, создаваемого переменным током, называются *синхронными*.

Синхронные двигатели малой мощности, лежащей в пределах от долей ватта до нескольких сотен ватт, используются в схемах автоматизации в тех случаях, когда необходимо поддерживать постоянство частоты вращения. Сюда относятся различные механические задатчики, лентопротяжные механизмы, самописцы и др.

Электродвигатели переменного тока, у которых частота вращения ротора отстает от частоты вращения магнитного поля, создаваемого переменным током, называются *асинхронными*.

В схемах автоматизации в машиностроении в качестве исполнительных электрических серводвигателей переменного тока наиболее широкое применение нашли именно асинхронные электродвигатели.

Как и у электродвигателей постоянного тока, у электродвигателей переменного тока вследствие малости величины комплексного сопротивления ротора при малых скоростях его вращения пусковой ток оказывается достаточно большим. Поэтому и здесь применяются ограничивающие пусковые схемы, подобные схемам, применяемым при пуске электродвигателей постоянного тока с поправкой на число фаз питающего переменного напряжения.

В зависимости от числа фаз питающего переменного напряжения различают однофазные, двухфазные и трехфазные электродвигатели переменного тока.

Однофазные электродвигатели переменного тока характеризуются небольшой мощностью и используются главным образом в нерегулируемых приводах, например в вентиляторах.

Двухфазные электродвигатели переменного тока характеризуются сравнительной простотой регулирования как скорости вращения, так и развиваемого вращающегося момента. Это обусловило их широкое применение для целей автоматизации.

Трехфазные электродвигатели переменного тока характеризуются высокой развиваемой мощностью, достигающей нескольких киловатт. Они находят применение в нерегулируемых приводах станков, компрессоров, насосов и т. п.

По сравнению с электродвигателями постоянного тока электродвигатели переменного тока обладают следующими преимуществами:

- большая безотказность и долговечность;
- более широкий диапазон регулирования частоты вращения и вращающегося момента;
- меньшие потери на трение, что обуславливается отсутствием коллектора со щетками;
- отсутствие электромагнитных помех, создаваемых искрением;
- меньшая инерционность.

В то же время электродвигатели переменного тока по сравнению с электродвигателями постоянного тока обладают следующими недостатками:

- более высокие масса и габаритные размеры при одних и тех же развиваемых мощности и вращающих моментах;
- более низкий КПД;
- меньшие пусковой момент и быстродействие.

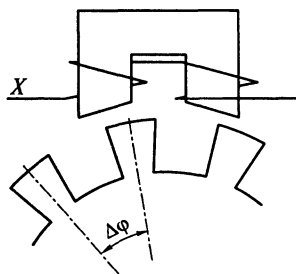
Эти электродвигатели в основном используются в стационарных устройствах, питаемых от заводской электросети.

3.4. Синхронные шаговые электродвигатели

Работа синхронного шагового электродвигателя состоит в том, чтобы при подаче на него одного электрического импульса его зубчатый ротор поворачивался на дозированную величину, как правило, на один зубец.

Конструктивно подвижный ротор и неподвижный статор шагового электродвигателя обычно состоят из трех (по числу фаз управляющего напряжения) секций, набранных из трансформаторного железа. Секции ротора жестко закреплены на валу шагового электродвигателя, а секции статора жестко закреплены на неподвижной части этого вала шагового электродвигателя. И ротор, и статор шагового электродвигателя изготовлены с одинаково-

Рис. 3.3. Схема поворота ротора синхронного шагового электродвигателя



выми прямоугольными выступами, называемыми зубцами. Шаг зубцов на роторе и на статоре одинаков, но зубцы всех трех секций статора относительно оси вращения расположены одинаково, а зубцы второй секции ротора смещены относительно первой секции ротора на $1/3$ шага, и зубцы третьей секции ротора смещены относительно той же первой секции ротора на $2/3$ шага. На каждой из секций обмоток статора размещают управляющие обмотки с числом полюсов N .

При подаче импульса напряжения X на обмотку одной из секций статора ротор шагового электродвигателя поворачивается на такой угол $\Delta\phi$, чтобы минимизировать магнитное сопротивление воздушного зазора между выступами статора и соответствующей секции ротора (рис. 3.3). В соответствии с этим, зубцы данной секции ротора, если не принимать специальных мер, устанавливаются прямо против зубцов соответствующей секции статора, т.е. угол $\Delta\phi$ градусов, на который поворачивается ротор, определяется соотношением

$$\Delta\phi = 360/3N.$$

Подача импульса на обмотку следующей секции статора вызывает поворот ротора шагового электродвигателя еще на угол $\Delta\phi$ и так далее. Последовательность подачи импульсов прямоугольного напряжения на обмотки секций статора определяется соответствующей электронной коммутирующей схемой. Возможны и специальные схемы коммутации, при которых устойчивыми будут не только положения «зубец (ротора) против зубца (статора)», но и положения «зубец против зубца с заданным смещением». Скорость вращения ротора шагового электродвигателя однозначно определяется частотой подачи на обмотки его статора прямоугольных импульсов напряжения. Поэтому такие шаговые электродвигатели являются синхронными. Применение их оказывается целесообразным, когда требуется стартстопное вращение с точным позиционированием и (или) с заданной скоростью вращения вала. Общий угол поворота ротора однозначно определяется суммарным числом импульсов, поданных на вход данного шагового электродвигателя.

Шаговые электродвигатели характеризуются таким специфическим параметром, как приемистость, которая иногда называется также разрешающей способностью. *Приемистостью*, или *разрешающей способностью*, шагового электродвигателя называется та предельная частота поступающих на его вход сигналов, начиная с

которой данный шаговый электродвигатель перестает их надежно, т.е. без пропусков, обрабатывать.

У современных двигателей такого типа предельная разрешающая способность обычно составляет 2 кГц, доходя в некоторых случаях до 8... 10 кГц. Соответствующий угол поворота ротора при подаче на вход шагового электродвигателя единичного импульса обычно составляет $(1,5 \pm 0,5)^\circ$.

По сравнению с электродвигателями постоянного и переменного токов синхронный шаговый электродвигатель характеризуется более высокой безотказностью, более высокой устойчивостью к внешним помехам, а также меньшими габаритными размерами. Однако такие электродвигатели имеют меньший, чем электродвигатели постоянного и переменного токов, КПД и мощность, не превышающую обычно сотен ватт, а следовательно, и развивают меньший вращающий момент.

Однако в последнее время появились шаговые электродвигатели, способные развивать значительную мощность. Появились также двигатели такого типа, у которых зубчатые статор и ротор развернуты по оси или плоскости (по двум осям), так что подобные шаговые электродвигатели способны непосредственно осуществлять линейные перемещения вдоль этой оси или по этой плоскости.

3.5. Электромагниты

Электромагниты среди силовых электрических исполнительных аппаратов являются наиболее конструктивно и схемно простыми, а также эксплуатационно надежными. Однако они развивают сравнительно небольшие усилия и мощности (до сотен ватт) и характеризуются двумя допустимыми крайними положениями рабочего органа, а между этими двумя допустимыми ограничениями положение рабочего органа не регулируется.

Различают две разновидности электромагнитов:

- с сердечником из ферромагнитного материала, например из пакета трансформаторного железа, к которому при подаче напряжения на обмотку катушки электромагнита притягивается подвижная деталь, называемая якорем электромагнита;
- без сердечника из ферромагнитного материала. Эти электромагниты выполнены в виде катушки с обмоткой, в которую (катушку) при подаче на нее напряжения втягивается подвижный сердечник.

Когда употребляют термин «электромагниты», обычно имеют в виду именно электромагниты первой разновидности. Электромагниты второй разновидности принято называть *соленоидами*. Обозначаются электромагниты и соленоиды на принципиальных схемах релейно-контактной автоматики одинаково.

Электромагниты применяются, главным образом, в электромагнитных контактных реле, а также для управления пневматическими и гидравлическими клапанами и золотниками и в схватах роботов, т. е. везде, где требуются перемещения рабочих органов на небольшие и фиксированные расстояния.

Электромагниты постоянного тока бывают нейтральными и поляризованными. Электромагниты переменного тока развивают меньшее тяговое усилие и характеризуются меньшей чувствительностью, чем электромагниты постоянного тока, при одних и тех же габаритных размерах и поэтому применяются реже.

Электромагниты по характеру перемещения рабочего органа могут подразделяться на электромагниты с линейным и поворотным движением, а также на тянущие и толкающие.

Толкающие электромагниты, используются, в основном, в гидравлических и пневматических устройствах, а тянущие — для непосредственного управления движением машин и механизмов.

Электромагниты могут снабжаться дополнительными контактами. Эти дополнительные контакты могут быть использованы для целей сигнализации и фиксации факта срабатывания данного электромагнита, а также для подключения дополнительных сопротивлений в цепь обмотки электромагнита после его срабатывания. Дело в том, что для удержания электромагнита в сработавшем состоянии требуется меньший ток, чем для его (электромагнита) срабатывания. Уменьшение тока, протекающего через обмотку электромагнита, уменьшает ее нагрев и, следовательно, повышает безотказность и долговечность электромагнита.

3.6. Гидравлические серводвигатели

Гидравлические серводвигатели осуществляют превращение энергии, находящейся под давлением рабочей жидкости в поступательное либо вращательное движение некоего подвижного рабочего органа. В качестве рабочей среды в гидравлических серводвигателях используют жидкости с хорошей смазывающей способностью, такие как минеральные масла, спиртоглицериновая смесь, а также специальные синтетические жидкости. В рабочую жидкость добавляют также различные антикоррозионные, антиокислительные, антифрикционные присадки и присадки, уменьшающие износ двигателя. Давление рабочей жидкости в современных гидравлических серводвигателях составляет 30... 50 бар. Скорость течения рабочей жидкости в гидравлических трубопроводах достигает 5 м/с.

Гидравлические серводвигатели могут обеспечивать как поступательное, так и вращательное движение рабочего органа. В первом случае используются различные типоразмеры и конструкции рабочих цилиндров и поршней как двухстороннего действия, ког-

да рабочая жидкость подается в полости, расположенные по обе стороны поршня, так и одностороннего действия, когда рабочая жидкость подается в полость, расположенную с одной стороны поршня, а возврат этого поршня в исходное положение после снятия давления рабочей жидкости осуществляется специальной пружиной.

Различные по принципу действия гидравлические двигатели вращательного типа изображены на рис. 3.4.

К числу таких гидравлических серводвигателей следует отнести гидродвигатель с поворотной лопастью, схема которого изображена на рис. 3.4, *а*, гидродвигатель ротационного типа, схема которого изображена на рис. 3.4, *б*, а также аксиально-поршневой гидродвигатель с наклонной шайбой, схема которого изображена на рис. 3.4, *в*. Существуют и другие типы гидравлических серводвигателей вращательного движения.

Гидравлический серводвигатель с поворотной лопастью, изображенный на рис. 3.4, *а*, устроен и работает следующим образом.

Рабочая жидкость под давлением P_p поступает в подводящий трубопровод 2, ведущий в рабочую полость 3 поверх лопасти 5, контактирующей с корпусом 6. Сливающаяся жидкость под давлением $P_{от}$ через отводящий трубопровод 1 вытекает из полости 7,

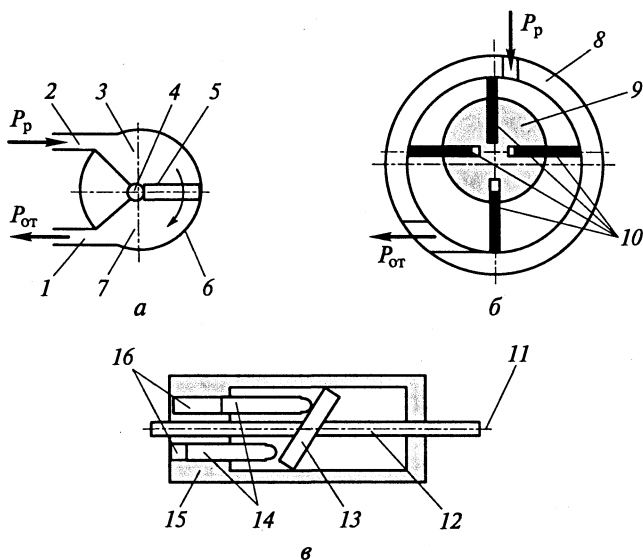


Рис. 3.4. Схемы гидравлических серводвигателей:

а — лопастный; *б* — ротационный; *в* — аксиально-поршневой; 1 — отводящий трубопровод; 2 — подводящий трубопровод; 3 — рабочая полость; 4 — выходной вал; 5 — лопасть; 6 — корпус; 7 — сливная полость; 8 — корпус; 9 — ротор; 10 — пластины; 11 — ось гидродвигателя; 12 — выходной вал; 13 — наклонная шайба; 14 — плунжеры; 15 — корпус; 16 — рабочие полости

находящейся ниже лопасти 5. Под действием разности давлений P_p и $P_{от}$ лопасть 5 поворачивает выходной вал 4 этого гидравлического серводвигателя. Поворот лопасти 5 происходит между ограничителями.

Гидравлический серводвигатель ротационного типа, изображенный на рис. 3.4, б, устроен и работает следующим образом.

В корпусе 8, являющемся статором, устанавливается ротор 9, так что его ось вращения смещена относительно оси статора 8. Иными словами, ротор 9 устанавливается эксцентрично относительно корпуса 8. В пазах ротора 9 помещаются пластины 10. Рабочая жидкость под давлением P_p поступает к этому гидравлическому серводвигателю и с остаточным давлением $P_{от}$ выходит из него. За счет разности этих давлений пластины 10 поворачиваются, увлекая за собой ротор 9. Заметим, что при вращении ротора 9 пластины 10 под действием возникающей центробежной силы прижимаются к внутренним стенкам корпуса 8. Для лучшей герметизации рабочих полостей такого гидравлического сервопривода в пазы ротора 9 иногда помещают пружины, подпирающие пластины 10, или подают под некоторым давлением рабочую жидкость.

Гидравлический серводвигатель аксиально-поршневого типа, изображенный на рис. 3.4, в, устроен и работает следующим образом.

Выходной вал 12 гидравлического серводвигателя устанавливается по оси 11 корпуса 15 этого серводвигателя. Под углом к этому валу устанавливается и жестко закрепляется наклонная шайба 13. В силовом контакте с ней находятся плунжеры 14, скользящие в соответствующих цилиндрических направляющих корпуса 15. Наконечники плунжеров 14, находящиеся в силовом контакте с наклонной шайбой 13, имеют сферическую форму и обычно изготавливаются из твердых износостойких сплавов. Рабочие полости 16 за плунжерами 14 через гидрораспределители соединяются с источником давления и со сливным баком. В аксиально-поршневом гидравлическом серводвигателе, как правило, используются не два плунжера, которые на рис. 3.4, в попали в осевое сечение, а пять. Усилия, создаваемые рабочей жидкостью и направленные вдоль осей плунжеров раскладываются на наклонной шайбе по правилу параллелограмма сил, что в результате приводит к появлению на валу 12 некоторого вращающего момента.

Среди других типов гидравлических серводвигателей стоит упомянуть шестеренные серводвигатели с наружным и внутренним зацеплениями. Наряду с рассмотренными аксиально-поршневыми гидравлическими серводвигателями, у которых рабочие плунжеры располагаются параллельно выходному валу, существуют и применяются радиально-поршневые гидравлические серводвигатели, у которых рабочие плунжеры располагаются перпендикулярно выходному валу.

Для регулирования скорости гидравлических серводвигателей используются два метода: объемное регулирование и дросселирование.

При объемном регулировании расход рабочей жидкости, определяющий скорость гидравлического серводвигателя, изменяется путем изменения рабочего объема регулируемой гидромашины.

При дроссельном регулировании изменяется гидравлическое сопротивление путем изменения проходного сечения (дросселирования) регулирующих устройств.

Дроссельное регулирование обладает более высоким быстродействием по сравнению с объемным, но из-за присущих этому способу регулирования значительных потерь он применяется, в основном, в гидравлических серводвигателях малой мощности (до 3...5 кВт).

3.7. Пневматические серводвигатели

Пневматические серводвигатели предназначены для преобразования энергии сжатого газа, чаще всего воздуха, в механическую энергию поступательного или вращательного движений. Пневматические устройства менее инерционны по сравнению с гидравлическими. Это объясняется меньшими значениями вязкости и удельного веса газа (воздуха) по сравнению с минеральными маслами или другими рабочими жидкостями. Пневматические серводвигатели по сравнению с гидравлическими обладают и другими, на первый взгляд незначительными, но практически весьма важными эксплуатационными преимуществами перед гидравлическими. Дело в том, что гидравлические устройства обладают свойством подтекать, и со временем окружающая их производственная среда загрязняется. Пневматические устройства, особенно использующие в качестве рабочей среды сжатый воздух, свободны от этого недостатка.

Но пневматические серводвигатели не могут точно воспроизводить заданный закон перемещения. Это объясняется сжимаемостью газа, т. е. сильной зависимостью его объема от давления.

Многими фирмами выпускаются гаммы рабочих пневмоцилиндров общепромышленного назначения. Эти пневмоцилиндры с успехом могут быть использованы для целей автоматизации производственных процессов в машиностроении. Так, у типовых пневмоцилиндров общепромышленного назначения скорость перемещения поршня колеблется в диапазоне от 1 до 10 м/с, диаметр цилиндра изменяется от 0,01 до 0,3 м, ход поршня лежит в пределах от нескольких мм до 2...3 м, а ресурс службы составляет до 10 млн ходов поршня. Питаются такие рабочие пневмоцилиндры обычно

от заводской пневмосети через соответствующие фильтры и редукторы.

Пневмодвигатели с прямолинейным движением выходного вала, реализуемые на базе различных пневмоцилиндров, бывают весьма разнообразными. Они могут быть одно- и двухстороннего действия, с одно- и двухсторонним штоком, двухпоршневые, однопоршневые с отверстиями в гильзе, многопоршневые, сдвоенные, телескопические, со встроенным ресивером. Пневмодвигатели могут также представлять собой вращающиеся пневмоцилиндры с полым или сплошным штоком либо сдвоенные вращающиеся пневмоцилиндры.

Нагрузка, которую преодолевают пневматические серводвигатели поступательного движения, также бывает весьма разнообразной.

Это может быть осевая нагрузка, направление которой совпадает с осью разгруженного в радиальном направлении штока, осевая нагрузка, направление которой совпадает с осью неразгруженного в радиальном направлении штока, радиальная нагрузка, сочетание радиальной и осевой нагрузки, осевая нагрузка с шарнирно закрепленными штоком и задней крышкой, осевая нагрузка с шарнирно закрепленными штоком и гильзой цилиндра.

Серводвигатель может при этом устанавливаться как горизонтально, так и вертикально.

Для реализации вращательного движения выходного вала нашли практическое применение все типы пневматических серводвигателей, принцип действия которых подобен принципу действия ранее рассмотренных гидравлических серводвигателей с вращательным движением на выходе. Но кроме этого для реализации вращательного движения выходного вала нашли практическое применение также и такие специфические типы пневматических серводвигателей, как турбинный, применяемый для приводов шлифовальных станков, и винтовой, применяемый для приводов конвейеров, транспортеров и рольгангов.

Наиболее широко применяемые типы пневматических исполнительных двигателей сведены в классификационную схему, приведенную на рис. 3.5.

Среди этих двигателей наибольшее применение к настоящему времени нашли пластинчатые пневматические серводвигатели. Они способны развивать большие угловые скорости вращения, но при этом создают небольшой вращающий момент. Поэтому в такой двигатель обычно встраивается одна или несколько ступеней планетарных редукторов. Обычно для таких двигателей требуется обильная смазка.

Поршневые пневмоцилиндры в принципе могут иметь весьма широкий диапазон параметров, но существуют ряды их типораз-



Рис. 3.5. Классификация пневматических серводвигателей

меров, отличающихся диаметром самого цилиндра и штока, а также усилием на штоке. Типовой пневмоцилиндр для смягчения ударов в крайних положениях поршня имеет встроенные в крыш-

ки пневматические демпферы. Для торможения штока в промежуточном положении предусматриваются специальные пневмоуправляемые тормозные устройства, размещаемые в штоковой крышке этого пневмоцилиндра.

Характерной особенностью пневматических серводвигателей является то, что наряду с поршневыми компонентами широко применяются упругие элементы в виде металлических и неметаллических мембран и сильфонов.

Это позволяет строить такие специфические серводвигатели поступательного движения, как мембранный, применяемый, в основном, в зажимных устройствах; сильфонный, применяемый в датчиках и специальных устройствах с небольшой величиной перемещения и усилий; камерный, применяемый, для зажима деталей в нескольких точках, а также шланговый, применяемый в транспортирующих устройствах со значительной величиной перемещения (порядка 10 м) и небольшими перемещаемыми массами.

На рис. 3.6 представлен пневматический мембранный серводвигатель одностороннего действия.

Такой серводвигатель устроен и работает следующим образом. При подаче сжатого воздуха под давлением P_0 в рабочую полость 4 над мембраной 5 шток 2 перемещается до упора 3. При этом пружина 1 сжимается. После снятия давления сжатого воздуха P_0 пружина 1 распрямляется до исходного состояния и шток 2 возвращается в исходное положение.

Заметим, что наряду с односторонними существуют также и двухсторонние мембранные пневматические серводвигатели, у которых обратный ход штока также совершается под действием сжатого воздуха, а не пружины.

Мембранные пневмодвигатели широко применяются в зажимных, фиксирующих, тормозных, прессующих и тому подобных устройствах станков и другого технологического оборудования.

У мембранных пневматических серводвигателей по сравнению с поршневыми меньше рабочий ход. Однако эти серводвигатели

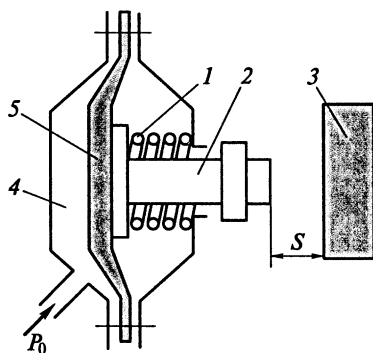


Рис. 3.6. Схема мембранного пневматического серводвигателя:

1 — пружина; 2 — шток; 3 — упор;
4 — рабочая полость; 5 — мембрана

более просты в изготовлении, поскольку здесь не требуется выдерживать жесткие допуски, более герметичны и не нуждаются в подаче распыленной смазки. К недостаткам мембранных пневмоприводов следует отнести небольшую абсолютную величину хода, непостоянство развиваемого таким приводом усилия по ходу, сравнительно низкую долговечность.

3.8. Исполнительные приводы металлорежущих станков

Исполнительные приводы различной физической природы применяются в технологическом оборудовании машиностроения, конкретно в станках, для осуществления следующих движений:

- координатные перемещения подач;
- главное движение;
- вспомогательные движения механизмов станков.

К каждому из этих видов исполнительных приводов предъявляются свои технические требования.

Классификационная схема различных исполнительных механизмов, применяемых в станкостроении в качестве приводов, приведена на рис. 3.7.

Для построения систем автоматизации технологического оборудования, прежде всего металлорежущих станков, необходимо создание и использование высокоэффективных электрических исполнительных приводов (электрических сервоприводов).

По типу базового исполнительного двигателя электрические приводы могут быть подразделены на приводы с двигателями постоянного тока, с синхронными (вентильными) двигателями переменного тока, с асинхронными двигателями и с импульсными шаговыми двигателями.

По способу выполнения силового преобразователя различают тиристорные электроприводы на основе управляемых вентилей, и транзисторные (транзисторно-тиристорные).

По возможности изменения направления вращения различают электродвигатели реверсивные и нереверсивные.

В настоящее время в станкостроении применяется, основном, *автоматизированный электропривод*, т.е. привод с автоматическим регулированием параметров движения:

- *регулируемый* электропривод, обрабатывающий задание по скорости вращения;
- *следящий* электропривод, обрабатывающий перемещение исполнительного органа в соответствии с произвольно изменяющимся задающим сигналом;



Рис. 3.7. Классификация приводов в станкостроении

- *позиционный* электропривод, обеспечивающий отработку заданного положения исполнительного органа технологического оборудования;

- *адаптивный* электропривод, автоматически подбирающий структуру или параметры системы регулирования при изменении условий работы.

Координатные приводы подачи. Эти приводы бывают двух видов: дискретные (шаговые) и следящие. В свою очередь, приводы подачи дискретного типа подразделяются на приводы с силовым шаговым двигателем, соединенным с исполнительным механизмом непосредственно через соответствующую кинематическую цепь, и на приводы с управляющим шаговым двигателем, играющим роль задатчика угла поворота для усилителя крутящего момента, выполненного в виде автономной следящей системы, обычно гидравлической. Область применения следящего привода подачи особенно расширилась после создания высокомоментных электродвигателей с постоянными магнитами. Для управления скоростью вращения таких двигателей применяют тиристорные преобразо-

ватели. Использование реверсивных тиристорных преобразователей, построенных по многофазной мостовой схеме, позволяет реализовывать реверсивные приводы подач с высокими динамическими качествами.

К координатным приводам подач предъявляются следующие требования:

- высокая точность перемещения;
- независимость точности перемещения от того, на каком участке полного перемещения осуществляется заданное движение;
- возможность регулирования скорости движения в достаточно широком диапазоне;
- возможность реверсирования (направления движения с обратным знаком);
- независимость скорости и точности перемещения от нагрузки на исполнительный привод.

Приводы главного движения. К приводам главного движения станка предъявляются требования, которые частично совпадают с требованиями, предъявляемыми к приводам координатных подач, а в некоторых отношениях являются в корне иными. От приводов главного движения станка требуется:

- обеспечение высокой точности поддержания заданной скорости, а не величины углового или поступательного перемещения;
- возможность регулирования скорости движения в достаточно широком диапазоне;
- возможность реверсирования (направления движения с обратным знаком);
- независимость или незначительная зависимость скорости движения от нагрузки на исполнительный привод.

В приводах главного движения станков применяют преимущественно регулируемые электроприводы с двигателем постоянного тока (обычно, с тиристорным преобразователем). При этом мощность привода главного движения изменяется в зависимости от числа оборотов шпинделя. Статистические исследования загрузки станков показывают, что от нижней границы оборотов примерно до середины диапазона регулирования зависимость потребляемой мощности от числа оборотов шпинделя близка к прямой пропорциональной зависимости, и, следовательно, в нижнем полудиапазоне регулирование привода следует производить при постоянном моменте. Затем потребляемая мощность растет и вблизи верхнего предела диапазона регулирования достигает своего максимума. Затем при наибольших числах оборотов потребляемая мощность несколько снижается (это соответствует чистовой обработке или же резанию легкообрабатываемых материалов типа алюминия). На этом участке (верхней половине диапазона регулирования) привод можно регулировать при постоянной максимальной мощности.

Такое регулирование принято называть *двухзонным*.

Прогрессивным решением в создании электромеханизмов главного движения считается создание устройств типа мотор — шпиндель или мотор — редуктор. Устройство типа мотор — шпиндель получается путем встройки статора и ротора электродвигателя в шпиндельный узел. Устройство типа мотор — редуктор получается путем пристройки планетарного редуктора к электродвигателю. Устройства этих типов в настоящее время применяются в приводах главного движения токарных станков средних размеров, в токарно-карусельных станках и др.

Приводы вспомогательных механизмов. К вспомогательным функциям современных станков относятся реверсирование и останов шпинделя, в том числе и в заданном положении, переключение поддиапазонов частоты вращения приводов главного движения, а также величины подачи, поиск и смена инструмента, коррекция и фиксация его положения, установка рабочих органов в исходное положение, позиционирование заготовки, зажим и освобождение заготовки, фиксация и высвобождение подвижных узлов станка, включение и выключение систем смазки, охлаждения, удаления стружки и др. Для выполнения этих функций в конструкции станка должны предусматриваться специальные вспомогательные механизмы, имеющие свои сервоприводы. Сервоприводы вспомогательных механизмов могут иметь как постоянную, так и регулируемую скорость. Регулируемые сервоприводы вспомогательных механизмов применяются для выполнения точных делительных и (или) установочных перемещений.

К приводам вспомогательных механизмов предъявляются следующие требования:

- высокие динамические качества, прежде всего высокое быстроедействие;
- большие рабочие усилия;
- высокая кратность пускового момента (усилия) по отношению к номинальному;
- способность достаточно просто сочетаться с разнообразными по конструктивному исполнению механизмами.

В наибольшей степени этим требованиям отвечают гидравлические и пневматические исполнительные сервоприводы.

Рассмотрим семейство механических характеристик двигателя при различных нагрузках (см. рис. 3.2, б). Все кривые этого семейства можно считать прямыми линиями с отрицательным наклоном, исходящими из одной точки. Это значит, что, во-первых, когда двигатель не развивает никакого полезного момента ($M = 0$), его обороты являются максимальными, а, во-вторых это означает, что при преодолении некоторого нагрузочного момента при прочих равных условиях (например, в случае электродвигателя при неизменности подаваемого на него напряжения) обороты

данного двигателя будут снижаться. Как говорят, двигатель «проседает» под нагрузкой.

Характеристику, когда двигатель сильно снижает свои обороты под нагрузкой, принято называть *мягкой*.

Характеристику, когда двигатель незначительно снижает свои обороты под нагрузкой, принято называть *жесткой*.

Естественно, что для производственных задач, когда нагрузка на двигатель может изменяться самым непредсказуемым образом, желательно использовать двигатели с жесткой характеристикой. Будет ли характеристика того или иного двигателя мягкой или жесткой, зависит от конструктивных параметров данного двигателя. Однако схемным путем благодаря соответствующему включению и использованию отрицательной обратной связи можно, не меняя конструкции данного электродвигателя (это в большинстве случаев покупное изделие), сделать его механическую характеристику жесткой.

Для малых станков и технологического оборудования с малыми нагрузками, например для *электроэрозионных станков*, достаточно широко применяются синхронные ШД.

Использование ШД в более нагруженных цепях обычно сопровождалось применением следящей системы, усиливающей крутящий момент на ее входе. ШД в таком случае выполнял роль задатчика угла поворота входного вала этой системы. Однако в последнее время появились силовые ШД, способные развивать значительный вращающий момент. В результате наблюдается тенденция к отказу от использования следящих систем, выполняющих функции усилителей вращающего момента (большей частью — гидравлических), и к расширению непосредственного использования ШД в кинематических цепях. Так, в последнее время непосредственно на ШД строятся регулируемые цепи подачи у средних токарных и фрезерных станков.

Кроме регулируемых двигателей постоянного тока и шаговых двигателей в качестве исполнительных устройств широко применяются и другие разновидности электрических двигателей. К ним в первую очередь относятся асинхронные электродвигатели переменного тока. Эти двигатели бывают однофазные, двухфазные и трехфазные, с короткозамкнутым ротором, полым ферромагнитным ротором и полым немагнитным ротором. В системах автоматики для отработки соответствующим образом преобразованной информации чаще всего в качестве исполнительных устройств используются асинхронные двухфазные электродвигатели переменного тока с полым немагнитным ротором. Они обладают малым моментом инерции ротора, отсутствием скользящих токоподводов (щеток), что уменьшает момент трения и возникновение электромагнитных помех, способны к регулированию и реверсированию вращения, обеспечивают пропорциональность ско-

рости вращения напряжению питания, характеризуются стабильностью при существенном изменении температуры окружающей среды, а также рядом других положительных свойств.

Помимо различных электродвигателей в качестве исполнительных устройств для систем автоматизации производственных процессов в машиностроении используются и другие электромагнитные устройства.

Эти устройства базируются на тяговых электромагнитах, на использовании управляемых электромагнитами автоматических муфт трения или использовании порошковых электромагнитных муфт. С помощью таких устройств строятся различные электроуправляемые гидравлические и пневматические клапаны, а также электроуправляемые муфты, используемые в кинематических цепях.

3.9. Сопутствующие электроприводам электроаппараты систем автоматизации технологического оборудования

Электроприводы, применяемые для целей автоматизации, представляют собой сложные функционально, конструктивно и эксплуатационно законченные устройства, допускающие их работу в длительном, кратковременном и повторно-кратковременном режимах, а также в повторно-кратковременном режиме с частыми пусками и электрическим торможением.

Как правило, электроприводы, помимо базового электродвигателя, включают в себя следующие компоненты:

- общий корпус;
- общий выключатель;
- блок питания с необходимыми принадлежностями;
- блоки регулирования (в требуемом количестве);
- силовой трансформатор;
- коммутационная аппаратура;
- сглаживающие устройства и фильтры;
- автоматические внутренние выключатели;
- усилители;
- устройства обеспечения безопасности;
- предохранители.

В настоящее время благодаря развитию электронной техники, позволяющей эффективно управлять нелинейными характеристиками различных электродвигателей, и появлению новых магнитных материалов, в частности на основе кобальта, а также на основе железа, бора и некоторых редкоземельных элементов, создается техническая возможность перехода от электропривода, ра-

ботающего по схеме мотор — редуктор к электроприводу прямого (непосредственного) действия.

Подобные электроприводы прямого действия должны удовлетворять следующим требованиям:

- обладать устойчивой низкой частотой вращения и при этой частоте обеспечивать высокие значения вращающего момента;
- обладать встроенным в приводной электродвигатель датчиком углового положения, причем указанный датчик должен обладать высокой разрешающей способностью;
- торможение используемых в таких приводах электродвигателей должно осуществляться с высоким значением тормозного момента.

Для построения электроприводов прямого действия необходимы специальные подшипники качения, обладающие высокой точностью и большой жесткостью. Такие электроприводы также требуют применения специальных регуляторов, так как при отсутствии механического редуктора, способного осуществлять демпфирование и сглаживание, базовый электродвигатель оказывается более чувствительным к колебаниям нагрузки. Такой электропривод оказывается более чувствительным и к колебаниям инерционных масс, поскольку в приводе прямого действия приведенный момент инерции ротора электродвигателя оказывается одного порядка с моментом инерции приводимого механизма.

Примером специального бесконтактного электропривода прямого действия для узлов промышленных роботов может служить разработанный сравнительно недавно сверхвысокомоментный бескорпусный электродвигатель. Этот электродвигатель имеет тонкий кольцевой ротор, расположенный между внешним и внутренним статорами, имеющими одинаково расположенные зубцы. Последовательное возбуждение магнитного потока, проходящего через зубцы статора, и создает вращающий момент этого электродвигателя.

Помимо электроприводов, реализуемых на базе электродвигателей традиционных или новых типов, для целей автоматизации производственных процессов применяется и другая электроаппаратура.

К ней относятся:

- 1) командная аппаратура:
 - кнопочные выключатели (переключатели);
 - путевые выключатели (переключатели);
 - переключатели пакетно-кулачковые с использованием синхронного или стартстопного приводов;
 - тумблеры и переключатели с ручным управлением;
 - контактные и бесконтактные логические элементы;
 - электромагнитные реле;
 - реле времени;

2) исполнительная аппаратура:

- электромагнитные контакторы и пускатели;
- электромагниты и соленоиды;

3) аппаратура защиты:

- автоматические выключатели;
- предохранители;
- токовые реле;

4) аппаратура управления:

- трансформаторы для питания цепей управления;
- светосигнальная аппаратура, светофоры;
- электрические соединители (коннекторы).

Рассмотрим названные разновидности электрических аппаратов.

Кнопочный выключатель (переключатель) — это коммутационный аппарат, предназначенный для многократного включения и отключения электрических цепей в результате воздействия оператора.

Кнопочные выключатели и переключатели подразделяются на нажимные, поворотные и педальные. Они могут быть с самовозвратом и без самовозврата, с защелкой или блокировкой, выступающие и утопленные, одно- двух- и многополюсные.

Органы управления кнопочными выключателями и переключателями могут быть цилиндрическими, прямоугольными (клавишными), грибовидными, а также выполненными в виде рукоятки. В них могут быть встроены органы подсветки, запитываемые от соответствующего трансформатора или не нуждающиеся в нем. Органы управления некоторыми кнопочными выключателями и переключателями в случае необходимости могут выполняться с ключом.

Путевые выключатели (переключатели) подобно кнопкам также многократно выполняют в электрических цепях коммутационные функции, но не под непосредственным воздействием оператора, а под воздействием подвижного рабочего органа, например силовой головки агрегатного станка.

По характеру работы контактного механизма контактные путевые выключатели подразделяются на три группы:

- прямого действия, когда время переключения контактов зависит от положения и скорости перемещения привода данного подвижного органа;
- полумгновенного действия, когда время переключения контактов практически не зависит от скорости перемещения привода данного подвижного органа, а контактное нажатие зависит от положения привода данного подвижного органа;
- мгновенного действия, когда время переключения контактов и контактное нажатие не зависят от положения привода данного подвижного органа.

Путевые выключатели отличаются большим разнообразием устройств, обеспечивающих их нажатие под воздействием подвижного органа. Это могут быть различные толкатели и рычаги с роликом или без него и т. п. В схемах автоматизации применяются также путевые выключатели на базе блоков *микровыключателей*.

Бесконтактные путевые выключатели также осуществляют коммутацию тех или иных электрических цепей под воздействием подвижных рабочих органов, но, в отличие от контактных путевых выключателей, у них отсутствует механическая связь между этим подвижным элементом и коммутируемыми цепями. Чувствительный элемент таких путевых выключателей бывает, обычно, индуктивного или емкостного типа. Частота коммутации у современных бесконтактных путевых выключателей достигает 1 000 Гц.

Что касается электромагнитных контактных реле, то следует учесть, что они подразделяются по способу включения катушки на *шунтовые реле*, *реле напряжения* и *токовые реле*. В схемах автоматизации станков наибольшее распространение получили именно шунтовые реле.

Широкое применение в схемах автоматизации станков получили герметизированные реле с магнитоуправляемыми контактами, *герконы*. Контактное реле типа геркона представляет собой герметизированную (запаенную) стеклянную ампулу с находящимся внутри нее перекидным контактом. Этот контакт срабатывает без механического воздействия на него благодаря изменению конфигурации внешнего магнитного поля (например, в результате перемещения надетого на ампулу магнитного колечка). Реле типа геркона обладает большой безотказностью и долговечностью.

Большой и важный класс электрической аппаратуры составляют реле времени.

Реле времени — это аппараты, предназначенные для коммутации электрических цепей с определенными заданными промежутками времени, которые могут быть как регулируемыми, так и нерегулируемыми. По характеру этих заданных промежутков времени все реле времени можно подразделить на реле времени с задержками на срабатывание и реле времени с задержками на отпускание.

Реле времени по принципу реализации этих задержек времени подразделяются на пневматические (с регулированием времени истечения сжатого воздуха), моторные (на базе синхронных электродвигателей) и электронные. Подобные реле времени могут быть одно-, двух- и трехцепными в зависимости от числа электрических цепей, для которых независимо задаются задержки времени, а также однокомандными, программными или циклическими, контактными или бесконтактными, с точным и неточным заданием времени задержки, различным числом диапазонов задаваемой вре-

мени задержки, управляемыми включением либо отключением управляющей сети или же специальной командой.

Соответствующая классификация реле времени приведена на рис. 3.8.

Электромагнитные контакторы и пускатели, применяемые в системах автоматизации, являются различными вариантами уже рассмотренных устройств.

Также различными вариантами уже рассмотренных устройств являются и *электромагниты*.

Автоматические выключатели, применяемые в электрических схемах автоматизации, предназначены для отключения тока при нормальных условиях работы, а также для автоматического аварийного отключения тока при коротком замыкании или перегрузке. При нормальной работе электрических схем автоматизации подобные автоматические выключатели находятся в режиме ожидания. В большинстве автоматических выключателей устройство, осуществляющее аварийное отключение, реагирует на один из трех случаев: ток превышает заданное значение, ток оказывается ниже заданного значения, контролируемое напряжение падает до нуля.

В электрических цепях управления используются однополюсные автоматические выключатели, а в трехфазных цепях пере-



Рис. 3.8. Классификация реле времени

менного тока используются трехфазные автоматические выключатели.

Для автоматического отключения защищаемой электрической цепи в случае перегрузок или короткого замыкания применяются также *плавкие предохранители*. Однако они являются электрическими аппаратами одноразового действия.

Защита электрических цепей от перегрузок недопустимой длительности обычно обеспечивается различного рода *тепловыми реле*.

Для целей автоматизации применяются однофазные и трехфазные трансформаторы. Они используются для питания номинальным напряжением цепей управления, местного освещения и сигнализации, а также цепей электродинамического торможения электроприводов. При этом напряжение на первичной обмотке таких трансформаторов составляет обычно 220, 380 или 660 В переменного тока, что соответствует фазным напряжениям заводской электросети.

Светосигнальная аппаратура предназначена для индикации состояния тех или иных производственных параметров, а также для аварийной и предупреждающей световой сигнализации. Светосигнальная аппаратура бывает различного установочного диаметра и формы. Она может обладать разным свечением — красным, синим, желтым, зеленым и белым. Подобная аппаратура может различаться также по характеру используемого источника света, которым могут быть лампы накаливания, газосветные лампы, светодиоды и другие.

Разновидностями светосигнальной аппаратуры являются светофоры и световые табло. Обычно промышленный светофор имеет четыре светосигнальных секции различного цвета. Световым табло обычно называют светосигнальное поле, собранное из многих элементов.

Блоки зажимов и электрических соединителей предназначены как для соединения, так и для разветвления проводов в цепях управления и силовых цепях.

При разработке электрических систем автоматизации производственных процессов в машиностроении следует предусматривать специальные меры электробезопасности.

Так, каждый шкаф системы автоматизации должен снабжаться общим вводным выключателем обязательно ручного действия. Рукоятка этого вводного выключателя должна устанавливаться в легкодоступном месте и обязательно снаружи шкафа проектируемой системы автоматизации.

Дверцы кожухов проектируемых систем автоматизации должны снабжаться необходимыми блокировками, делающими в случае необходимости невозможным подвод напряжения к создаваемым системам. Эти блокировки должны иметь возможность отключения.

Критерием, определяющим надежность заземления или зануления потребителей энергии, является величина электрического сопротивления между металлическими корпусами создаваемой системы и тем узлом, к которому подсоединяется внешняя цепь защитного заземления. Считается, что это сопротивление должно быть порядка 0,1 Ом.

Для индикации состояния отдельных узлов, агрегатов, состоящих из этих узлов, и всей автоматизированной производственной системы в целом следует использовать светосигнальную аппаратуру. При использовании для подключения такой аппаратуры к объектам длинных линий следует запитывать эту аппаратуру от специальных трансформаторов. Управление такой светосигнальной аппаратурой может осуществляться либо прямым замыканием и размыканием контактов в цепях сигнализаторов, либо замыканием и размыканием контактов, шунтирующих добавочные сопротивления, включенные последовательно с данными сигнализаторами, либо (в случае осуществления режима «мерцания») путем подключения и отключения соответствующего релаксационного генератора.

В последнее время для последовательного проведения принципа модульности при построении систем автоматизации во все возрастающих масштабах применяются *мехатронные узлы*. Мехатронный узел представляет собой электромеханическое устройство, включающее в себя встроенный электродвигатель с электромагнитной или электромеханической редукцией, встроенные датчики механических и электрических величин, микроэлектронное устройство управления движением этого устройства, а также другие электронные, оптоэлектронные, электромеханические и механические компоненты, обеспечивающие функциональную, конструктивную и эксплуатационную законченность данного устройства.

Использование мехатронных узлов позволяет:

- существенно упростить структуру создаваемой системы автоматизации;
- значительно снизить трудоемкость ее создания;
- повысить качество создаваемой системы автоматизации, в том числе ее безотказности и долговечности.

3.10. Устройства гидросистем автоматизации, сопутствующие гидроприводам

В технологическом оборудовании механической обработки, в частности в металлорежущих станках, наряду с электроприводами широко применяются различного рода гидроприводы.

С точки зрения рабочего давления различают гидроприводы низкого давления (до 1,6 МПа), среднего давления (1,6... 6,3 МПа) и высокого давления (6,3... 20 МПа).

Гидроприводы низкого давления применяются обычно для автоматизации станков, предназначенных для финишной обработки. В таких станках колебания нагрузки, как и сама нагрузка, незначительны. Требуется также обеспечение низкой пульсации рабочего давления.

Гидроприводы среднего давления применяются, главным образом, для автоматизации такого технологического оборудования, где питание осуществляется от традиционных лопастных или шестеренных насосов.

Гидроприводы высокого давления применяются в мощных протяжных и строгальных станках, а также для автоматизации заготовительных производств.

В станкостроении и в системах автоматизации производственных процессов в машиностроении наибольшее применение находят гидроприводы с *разомкнутой циркуляцией*, когда рабочая жидкость из бака подается насосом в гидросистему, а затем из гидросистемы снова поступает в этот же бак. При *замкнутой гидросистеме* масло, отработав в гидросистеме, поступает непосредственно во всасывающую линию подающего насоса.

По решаемым задачам управления различают цикловые, следящие, адаптивные и программные гидросистемы. Цикловые гидросистемы, в свою очередь, подразделяются на гидросистемы с управлением по пути, давлению или времени. При управлении по пути («в функции пути») управляющие сигналы, поступающие на те или иные гидравлические аппараты, образуются в результате перемещения подвижного рабочего органа на заданное расстояние. При управлении по давлению («в функции давления») управляющие сигналы, поступающие на те или иные гидравлические аппараты, образуются в результате достижения давлением рабочей жидкости в той или иной контролируемой точке заданной величины (предельно большой, предельно малой или нулевой). При управлении по времени («в функции времени») управляющие сигналы, поступающие на те или иные гидравлические аппараты, образуются по истечении заданного промежутка времени.

Все гидроаппараты, используемые для построения гидросистем в технологическом оборудовании машиностроения, можно классифицировать, как показано на рис. 3.9.

Для гидронасосов и гидродвигателей характерны взаимная обратимость. В зависимости от того, какая величина — расход рабочей жидкости или вращение вала — является входом, а какая — выходом, одно и то же гидравлическое устройство может служить и гидродвигателем, и гидронасосом.

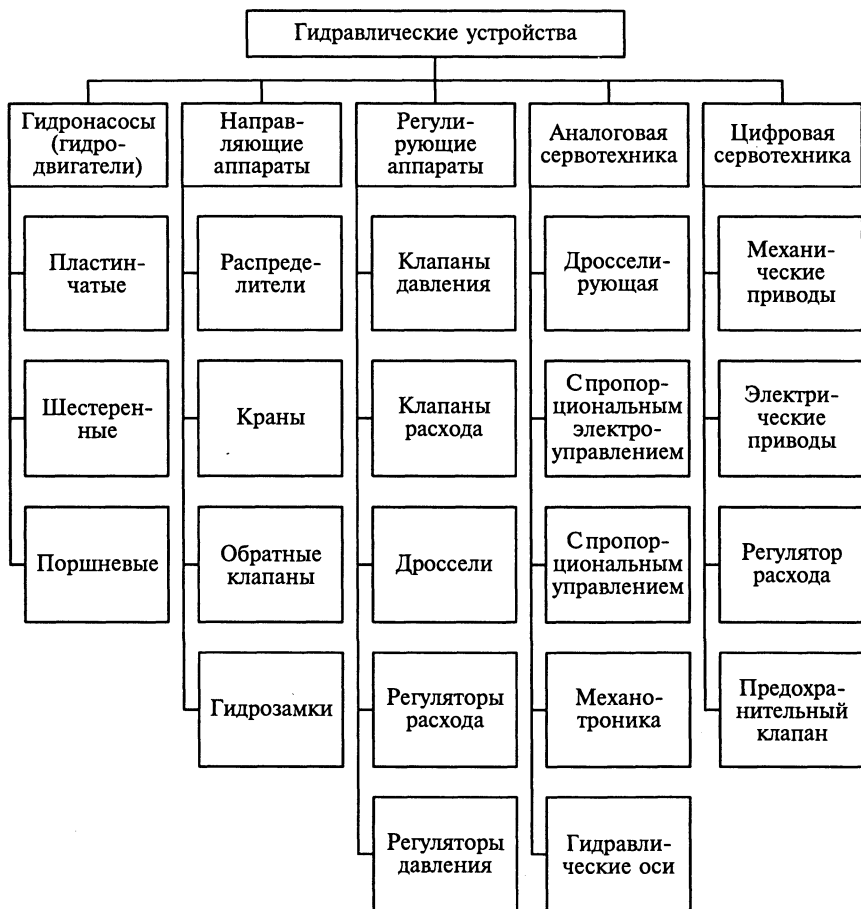


Рис. 3.9. Классификация гидроаппаратуры, применяемой для автоматизации

Представленные на классификационной схеме (см. рис. 3.9) пластинчатые гидронасосы (гидродвигатели) можно классифицировать на регулируемые и нерегулируемые, шестеренные — насосы наружного зубчатого зацепления и насосы внутреннего зубчатого зацепления, а поршневые — на радиально-поршневые насосы и аксиально-поршневые насосы (в зависимости от того, как конструктивно располагаются рабочие цилиндры с поршнями: перпендикулярно оси вращения или вдоль нее).

Гидрораспределители, применяемые для переработки информации в целях ее дальнейшего использования для управления приводами в системах автоматизации, изменяют направление потока рабочей жидкости, останавливают или пускают его в двух и более

линиях. Их можно подразделить на гидрораспределители с ручным, механическим, гидравлическим, электрическим и электрогидравлическим управлением.

Краны, как это следует из их определения, бывают только с ручным управлением.

Обратные клапаны допускают течение рабочей жидкости только в одном направлении, а гидрозамки, являющиеся разновидностью обратных клапанов, допускают течение рабочей жидкости в обратном направлении только при наличии давления в гидравлической цепи управления. Обратные клапаны и гидрозамки бывают только с гидравлическим управлением.

Среди клапанов давления различают напорные золотники, гидроклапаны с обратным клапаном и различного рода предохранительные клапаны, в том числе непрямого действия (регулируемые и нерегулируемые), с электроразгрузкой и без нее, двух- и трехлинейные.

Среди клапанов расхода различают регуляторы расхода, регуляторы расхода с обратным клапаном, двух- и трехлинейные, регуляторы расхода с обратным клапаном и распределителем.

Дроссели рекомендуются для определенного диапазона регулирования расхода в зависимости от рабочего давления. Выделяют также дросселирующие гидрораспределители с механическим управлением.

К устройствам аналоговой гидравлической сервотехники относятся именно дросселирующие гидрораспределители, которые применяются в высокودинамичных приводах, например в электроэрозионных станках, а также используются в качестве усилителей момента в незамкнутых системах регулирования перемещений высокой точности. К ним относятся также гидрораспределители с пропорциональным электроуправлением, которые используются в разомкнутых системах дистанционного управления вспомогательными механизмами и в замкнутых системах невысокой точности. Для этих же целей используются и регулирующие устройства с пропорциональным управлением. Для высокоточных систем регулирования давления, в том числе для испытательных стендов, применяются мехатронные пропорциональные гидроаппараты. Наконец, для привода вспомогательных механизмов сравнительно небольшой точности применяются гидравлические оси, где и перемещение исполнительного органа, и перемещение задающего органа является возвратно-поступательным.

Область применения дросселирующих гидрораспределителей существенно ограничивается необходимостью соблюдать высокие требования к чистоте рабочей жидкости, поэтому большее применение получила аппаратура с пропорциональным электроуправлением, которая способна работать вместе с обычными фильтрами. Пропорциональные гидрораспределители совместно с дат-

чиками давления, расхода, а также датчиками положения исполнительного органа при микропроцессорном управлении насосами могут обеспечить практически любую регулировочную характеристику.

Однако вследствие существенной нелинейности расходной характеристики и трудностей, возникающих при регулировании и стабилизации малых расходов и давлений, применение пропорциональной гидроаппаратуры ограничено, главным образом, разомкнутыми системами дистанционного управления.

Поскольку возможности аналоговой гидравлической сервотехники принципиально ограничиваются, как и во всякой аналоговой технике, дрейфом нуля и низкой помехоустойчивостью и надежностью, расширяется применение цифровой гидравлической сервотехники.

К устройствам цифровой гидравлической сервотехники относятся ротационные и линейные приводы с механическим или электрическим управлением, а также управляемые регуляторы расхода и предохранительные клапаны. Управляемые цифровые гидравлические приводы различных типов применяются в станках и технологическом оборудовании с ЧПУ средней точности, промышленных роботах, вспомогательных механизмах для регулирования скорости движения серводвигателей. Управляемые предохранительные клапаны применяются в основном для дистанционного программного изменения рабочего давления, например для изменения усилия зажима или изменения давления рабочей жидкости в различного рода прессах.

В системах цифровой гидравлической сервотехники в качестве задатчиков используются маломощные шаговые электродвигатели.

В системах с механической обратной связью по положению ШД во время движения рабочего органа постоянно вращается, причем максимальная скорость движения рабочего органа определяется максимальной пропускаемой частотой импульсов и «ценой» одного импульса.

В системах с электрической обратной связью ШД поворачивается на определенный угол, определяющий задание скорости движения рабочего органа.

Максимальная скорость движения рабочего органа определяется в этом случае максимально допустимой периодичностью считывания информации измерительной системой. В хороших приводах с цифровой гидравлической сервотехникой при «цене» одного импульса 0,01 мм обеспечивается скорость перемещения до 80 м/мин.

Для построения типовых схем гидравлических систем широко используются типовые специальные гидравлические узлы. К ним относятся:

- вращающиеся гидроцилиндры, обычно используемые для зажима в патроне вращающихся шпинделей токарных станков с ЧПУ;
- гидроприводы уравнивания, позволяющие разгрузить приводы подачи вертикально движущихся рабочих органов от действия силы тяжести и тем самым повысить их точность;
- гидроприводы зажимных механизмов, которые используются в машиностроении, в том числе для закрепления деталей на палетах, спутниках и поддонах;
- гидропанели реверса, которые применяются, главным образом, в технологическом оборудовании с возвратно-поступательным движением.

В сверхпрецизионном оборудовании применение цифровой гидравлической сервотехники с электрической обратной связью открывает принципиально более широкие возможности, а именно:

- тонкое регулирование расхода непрерывно дозируемых рабочих жидкостей, поступающих в гидродвигатели большого рабочего объема, позволяет достичь высокой точности регулирования перемещений рабочих органов (точность перемещений оказывается при этом в пределах сотых долей микрометра);
- использование цифрового принципа преобразования и использования информации повышает надежность и помехоустойчивость, исключает дрейф нуля, в том числе вызванный изменением температуры;
- совмещение в минимальном количестве деталей функций двигателя, направляющего устройства и контроля (например, с помощью лазерного интерферометра) предоставляет конструктору возможность оптимальной компоновки оборудования;
- создается возможность использования «холодной» гидравлики, что позволяет обеспечить термическую стабилизацию.

Для автоматизации производственных процессов в машиностроении и используемого при этом технологического оборудования применяются специальные гидравлические устройства, не включенные в классификационную схему на рис. 3.9.

К таким устройствам относятся, прежде всего, вращающиеся гидроцилиндры зажима патрона, гидроприводы поворотных механизмов различного рода делительных столов и головок, револьверных головок, инструментальных магазинов и других устройств, требующих максимально высокого быстродействия, гидроприводы уравнивания, а также гидропанели реверса.

Кроме описанных функциональных гидроаппаратов для построения гидросистем автоматизации используются различные фильтры чистоты рабочей жидкости, аккумуляторы и трубопроводы.

Фильтры работают в режимах полнопоточной или пропорциональной фильтрации во всасывающей, напорной или сливной линиях.

Аккумуляторы служат для накопления гидравлической энергии и уменьшения пульсации давления рабочей жидкости.

Гидравлические трубопроводы изготавливают из стальных бесшовных холоднодеформированных труб, из прецизионных стальных труб, а также из тонкостенных стальных или медных труб и рукавов высокого давления. Для их соединения используют развальцовку, шаровой ниппель или врезающееся кольцо. Внутренний диаметр трубопроводов определяется расходом и скоростью протекающей рабочей жидкости.

Конструктивно в современных гидросистемах наряду с трубным и стыковым соединением применяется также модульный и башенный монтаж гидроаппаратуры на основе использования конструктивно законченных функциональных блоков и устройств встраиваемого исполнения.

Следует заметить, что в технологическом оборудовании помимо аппаратуры гидравлической сервотехники все большее применение находят гидростатические направляющие. При использовании подобных направляющих в зазор между поверхностями органов, перемещающихся друг относительно друга, под давлением подается рабочая жидкость, что исключает прямой контакт этих поверхностей. Использование достаточно жестких и точных гидростатических направляющих позволяет исключить механическое трение, обеспечить долговечность базирующих поверхностей, повысить геометрическую точность перемещений, а также обеспечить внутреннее демпфирование в подвижных соединениях и возможность сверхмалых коррекций положения и зажима.

3.11. Устройства пневмосистем автоматизации, сопутствующие пневмоприводам

Пневматические устройства являются эффективным средством автоматизации и механизации технологического оборудования в машиностроении.

Это вытекает из присущих им принципиальных преимуществ. Указанные преимущества проявляются в наибольшей степени при выполнении операций зажима и фиксации деталей, их кантовании, контроле линейных размеров, выполнении операций сборки, при транспортировке, очистке базовых посадочных поверхностей инструмента и деталей, реализации движений промышленных роботов и др. Такими принципиальными преимуществами пневматических устройств, делающими их в отдельных случаях незаменимыми, являются:

- простота конструкции и обслуживания;
- высокая безотказность работы;

- сохранение работоспособности в широком диапазоне температуры, влажности и запыленности;
- большой срок службы, достигающий для отдельных пневматических устройств 10... 20 тыс. ч;
- высокие скорости перемещения исполнительных органов, достигающие для линейного движения 15 м/с, а для вращательного 20 000 об/мин;
- сравнительная простота передачи энергоносителя (сжатого воздуха) на значительные расстояния;
- централизованный источник выработки энергии (обычно заводская компрессорная сеть);
- возможность торможения и останова без риска повреждения механизма.

Недостатками пневматических устройств являются:

- невысокая скорость передачи управляющих сигналов, ограниченная скоростью звука в воздухе;
- трудности обеспечения плавности перемещения рабочих органов при колебаниях нагрузки;
- относительно высокая стоимость выработки сжатого воздуха.

Классификация основных пневматических серводвигателей, применяемых в системах автоматизации производственных процессов в машиностроении, была приведена ранее (см. рис. 3.5).

В станкостроении и вообще в машиностроении используется пневматическая техника трех уровней давления: высокого (0,2... 1,0 МПа), среднего (0,1... 0,25 МПа) и низкого (0,001... 0,01 МПа).

Помимо пневматических серводвигателей для целей автоматизации производственных процессов в машиностроении используются и другие устройства.

К таким устройствам прежде всего следует отнести пневмогидравлические и пневмоэлектрические преобразователи различной конструкции.

Отличительной особенностью пневмогидравлических насосов является возможность подачи рабочей жидкости лишь тогда, когда действительно существует необходимость в ее потреблении. Это ведет к сокращению потребления рабочей жидкости и к предотвращению ее излишнего нагрева.

К пневмонаправляющим устройствам относятся пневмораспределители, обратные пневмоклапаны, пневмоклапаны быстрого выхлопа, пневмоклапаны, управляющие последовательностью выполнения рабочих операций, пневмоклапаны, управляющие выдержкой времени, а также пневматические логические элементы.

Пневмораспределители, как и гидрораспределители, используются для изменения направления или пуска и останова потоков сжатого воздуха в двух или более внешних линиях. Под внешними

пневмолиниями следует понимать различные воздухопроводы, в том числе и просто отверстия для связи с атмосферой.

Существуют различные виды управления пневмораспределителями:

- ручное от оператора под действием кнопки, рычага или педали;
- механическое от подвижного узла под действием толкателя, ролика или ломающегося рычага;
- электромагнитное (с ручным дублированием или без ручного дублирования);
- пневматическое (путем повышения или понижения давления);
- электропневматическое (путем повышения или понижения промежуточного давления).

Характерным устройством сетей пневмоавтоматики является обязательное наличие в них различных кондиционеров сжатого воздуха, включающих в себя фильтры, маслораспылители и глушители. Степень загрязнения сжатого воздуха, используемого в пневмосетях для целей автоматизации, должна соответствовать действующим стандартам.

Фильтры обеспечивают влагоотделение и тонкую очистку сжатого воздуха. Как правило, такие фильтры выполняются центробежного типа и имеют ручные и автоматические устройства для выпуска конденсата.

Маслораспылители служат для подачи в пневмосистему смазки, уменьшающей требуемые усилия и износ трущихся пар, а также предохраняющей от коррозии. Концентрация смазывающего материала регулируется с помощью встроенного специального дросселя.

Глушители служат для снижения шума и конденсации масла и воды в выхлопе.

Для транспортировки сжатого воздуха в пневмосетях применяются различные трубопроводы. Трубопроводы в пневмосетях бывают жесткие и гибкие. Жесткие трубопроводы пневмосетей обычно изготавливаются из стали, меди, латуни или алюминиевых сплавов. Гибкие трубопроводы пневмосетей обычно изготавливают из резиновых трубок с нитяной оплеткой из хлопка или капрона, а также из таких синтетических материалов, как полиэтилен или полиэтилхлорид.

При выборе подводящего трубопровода следует учитывать, что потеря давления на пути от источника давления до потребителя не должна превышать 5...10 % от величины рабочего давления.

Конструктивно в современных пневмосетях наряду с трубным и стыковым соединениями применяется также модульный и башенный монтаж на основе использования конструктивно законченных функциональных блоков и устройств встраиваемого исполнения.

К различным пневмогидравлическим и пневмоэлектрическим преобразователям, делающим возможным построение пневматических сетей автоматики, относятся:

- *пневмовытеснители*, предназначенные для передачи без изменения давления сжатого воздуха рабочей гидравлической жидкости;

- *пневмогидропреобразователи*, предназначенные для передачи энергии сжатого воздуха рабочей гидравлической жидкости с другими величинами давления;

- *пневмогидронасосы*, предназначенные для нагнетания рабочей жидкости в гидросистему, где она дальше работает, как это предусматривается гидросхемой;

- *пневмогидроаккумуляторы*;

- *реле давления*, предназначенные для выдачи электрического сигнала при достижении в пневматической системе заданного уровня давления (разности давлений);

- *индикаторы давления*.

Сжимаемость воздуха является существенным фактором, который следует учитывать при проектировании исполнительных механизмов, работающих в условиях переменных нагрузок, например в устройствах подачи для сверления и фрезерования. Обычно сжимаемость воздуха компенсируется путем включения в пневмопривод подачи гидравлических регуляторов скорости, как это показано на схеме рис. 3.10.

В этом случае привод включает в себя гидроцилиндр 6 с замкнутой циркуляцией рабочей жидкости (масла) и регулируемым дросселем 4 в возвратном канале 5, служащем для регулирования расхода масла, однозначно определяющего скорость движения штока-толкателя 3, связанного со штоком 2 рабочего пневмоцилиндра 1.

Значительное распространение в практике автоматизации производственных процессов в машиностроении получили автономные пневмогидравлические сверлильные узлы. Для таких узлов характерно сочетание привода вращения

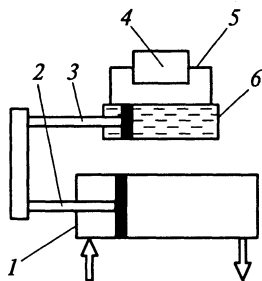


Рис. 3.10. Схема гидравлического регулятора скорости пневмопривода:

1 — рабочий пневмоцилиндр; 2 — шток рабочего пневмоцилиндра; 3 — шток-толкатель; 4 — регулируемый дроссель; 5 — возвратный канал; 6 — гидроцилиндр

сверла, осуществляемого пластинчатым пневматическим двигателем (с одной ступенью встроенного понижающего планетарного редуктора) с пневмоцилиндром, снабженным гидравлическим регулятором скорости, подобным описанному выше. После пуска происходит быстрый подвод пиноли со сверлильным патроном к поверхности намеченной к обработке детали, затем на рабочей подаче выполняется рабочая операция сверления. После завершения операции путевой пневматический выключатель выдает сигнал на возвращение подвижной части в исходное положение.

Можно также организовать цикл глубокого сверления, например пушечным сверлом, т. е. цикл многократного пошагового заглубления в заготовку на заданную глубину с быстрым отводом подвижной части в исходное положение и последующим быстрым подводом пиноли со сверлильным патроном к образованной в заготовке новой поверхности и переходом на рабочую подачу до нового заглубления в заготовку на заданную глубину. Так следует поступать несколько раз до достижения общей требуемой глубины сверления.

Наряду с использованием унифицированных пневмогидравлических узлов для схем пневмоавтоматики характерно использование специфических типовых устройств. К таким специфическим типовым устройствам относится вращающийся сдвоенный пневмоцилиндр управления зажимом детали в патроне. Питание этого пневмоцилиндра осуществляется через муфту подвода воздуха.

В корпус пневматического серводвигателя встроены блокировочные клапаны, удерживающие сжатый воздух при аварийном обрыве подвода питания. Факт зажима и разжима детали контролируется соответствующими встроенными индуктивными датчиками.

Новые возможности использования пневматических устройств в качестве исполнительных механизмов возникают при их сочетании с устройствами переработки информации, основанными на микропроцессорной технике. Для таких устройств характерна тенденция к уменьшению объема преобразований информации, выполняемых собственно пневматической частью, и перенесению максимума этих преобразований и соответствующих логических операций на переключательную цепь, реализованную на микроэлектронной схеме с высокой степенью интеграции.

Большинство из известных решений такого рода основано на применении тормозных устройств, обеспечивающих останов на заданной позиции. Имеются также решения, основанные на использовании следящих пневматических систем, где способность воздуха к сжатию так или иначе компенсируется.

Цифровой позиционный координатный пневмопривод может быть реализован различными способами. Например, он может быть построен на базе четырехкромочного следящего пневмораспределителя с шаговым управлением от системы ЧПУ.

Цифровой следящий пневмопривод позволяет:

- существенно расширить диапазон рабочих скоростей;
- достичь точности позиционирования в 0,05 мм за счет охвата конечного исполнительного органа обратной связью по положению;
- существенно повысить надежность за счет применения высоконадежных исполнительных механизмов (пневмоцилиндров), сквозной цифровой формы представления и обработки управляющих сигналов, а также исключения из привода промежуточных кинематических звеньев (например, винтовых передач), вносящих свои погрешности;
- обеспечить выполнение требований к сохранению окружающей среды вследствие экологичности выхлопа пневмосистемы.

Контрольные вопросы

1. Что включают в себя сервоприводы?
2. Для чего служат силовые и параметрические исполнительные механизмы?
3. В каких случаях применяются электрические, гидравлические и пневматические серводвигатели?
4. Дайте определение рабочей, механической и регулировочной характеристикам серводвигателя.
5. Каковы положительные особенности регулируемых электродвигателей постоянного тока?
6. Какие разновидности электродвигателей переменного тока используются в системах автоматизации в машиностроении?
7. Что такое приемистость шагового электродвигателя?
8. Каковы преимущества и недостатки шаговых двигателей?
9. Дайте определение мягкой и жесткой характеристикам двигателя.
10. Что относится к командной и исполнительной электроаппаратуре, электроаппаратуре защиты и управления?
11. Что называют электромагнитом?
12. Что такое контактные путевые выключатели прямого, полумгновенного и мгновенного действия?
13. Что такое бесконтактные путевые выключатели?
14. Какие разновидности электромагнитных реле применяются в устройствах автоматизации в машиностроении?
15. Объясните, что является мехатронными узлами.
16. Что такое объемное и дроссельное регулирование гидравлических серводвигателей?
17. Какие существуют разновидности гидравлических и пневматических серводвигателей?

18. Что такое взаимная обратимость насосов и двигателей в схемах гидро- и пневмотехники?

19. Как осуществляется электрическая и механическая обратные связи в гидросистемах автоматики?

20. Что представляют собой и где применяются специальные унифицированные узлы гидроаппаратуры?

21. В чем состоят основные преимущества и недостатки пневматической сервотехники по сравнению с гидравлической сервотехникой?

22. В чем заключается ручное, механическое, электромагнитное, пневматическое и электропневматическое управление пневмораспределителем?

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТАНКОВ И СТАНОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

4.1. Автоматизация отдельных станков

Станок — это машина для изготовления деталей. По назначению автоматизируемые станки следует подразделять на следующие категории:

- *универсальные*, которые предназначены для выполнения различных операций на деталях многих наименований;
- *широкого назначения*, которые предназначены для выполнения определенных операций на деталях многих наименований;
- *специализированные*, которые предназначены для обработки деталей одного наименования, но разных размеров;
- *специальные*, которые предназначены для обработки одной определенной детали.

По обеспечиваемой точности обработки все станки подразделяются на классы.

Буква Н означает станок нормального класса точности, буква П — повышенного, буква А — особо высокого, и буква С — сверхпрецизионного класса точности, к которому относятся мастер-станки с погрешностью до 1 мкм. Следует заметить, что с развитием прецизионного машиностроения появились станки еще более высоких классов точности: класса Т, обеспечивающего погрешность изготовления, не превышающую 0,3 мкм, и класса К, обеспечивающего погрешность изготовления, не превышающую 0,1 мкм.

В соответствии с ЕСКД все детали машиностроения, изготавливаемые на станках, классифицируются следующим образом:

- детали типа тел вращения, представляющие собой кольца, диски, шкивы, блоки, стержни, втулки, стаканы, оси, штоки, шпиндели и др.;
- детали типа тел вращения с элементами зубчатого зацепления, а также трубы, шланги, разрезные секторы, листовые сегменты, корпусные и опорные детали, элементы подшипников, аэрогидродинамических опор и емкостей;
- детали, не являющиеся телами вращения и представляющие собой те или иные объемы типа корпусов, опор и емкостей;

- детали, не являющиеся телами вращения и представляющие собой те или иные сплошные плоские элементы типа планок, рычагов, тяг, изгибаемых из листов, полос и лент элементов, а также профильных труб;

- специальные детали, могущие как являться, так и не являться телами вращения, а именно: детали типа кулачков, компонентов карданного подвеса, компонентов карданного подвеса с элементами зубчатого зацепления, компонентов арматуры, санитарно-технические компоненты, разветвления, пружины, ручки, уплотнители, а также различные отсчетные, пояснительные, защитные, оптические, электрорадиоэлектронные и крепежные компоненты;

- детали технологической оснастки и инструмента.

К деталям, изготавливаемым на металлорежущих станках, предъявляются специальные требования по обеспечению требуемого относительного положения присоединяемых неподвижных деталей и сборочных единиц, обеспечению относительного движения контактирующих с данной деталью подвижных деталей и сборочных единиц, допускаемым статическим и динамическим нагрузкам, допускаемым типовым воздействиям, допускаемым внешним воздействиям, допускаемым воздействиям окружающей среды, обеспечению требуемого периода эксплуатации, соблюдению требуемого регламента обслуживания, обеспечению заданных габаритных размеров, а также эргономические, эстетические и экономические требования.

Автоматизация отдельного станка направлена на уменьшение участия человека в эксплуатации этого станка. Это достигается как соответствующими мероприятиями, обеспечивающими автоматизацию управления данного станка, так и изменением его конструкции.

Под управлением отдельным станком принято понимать совокупность воздействий на механизмы данного станка, обеспечивающих выполнение им того производственного процесса, для которого этот станок применяется. Соответственно под системой управления отдельного станка следует понимать устройство или совокупность устройств, реализующие подобные воздействия.

Применительно к отдельным станкам принято различать два типа управления, а именно ручное и автоматическое.

Ручное управление не сводится к непосредственному воздействию оператора на рабочие органы станка, а заключается в принятии им решений о включении и выключении механизмов станка и задании параметров работы этих механизмов. Сами механизмы станка могут быть весьма разнообразными — механическими, электрическими, электронными, гидравлическими, пневматическими, а также комбинированными. В современных станках ручное управление часто сопровождается цифровой индикацией.

Автоматическое управление сводится к тому, что решения о включении и выключении механизмов станка и задании параметров работы этих механизмов принимает не человек-оператор, а система управления. В соответствии с принятыми решениями системой управления выдаются команды на исполнение этих решений.

Различают следующие типы автоматического управления отдельными станками:

- автоматическое управление неизменяемыми циклами обработки, например силовыми головками агрегатных станков;
- автоматическое управление изменяемыми циклами обработки, определяемыми материальными задатчиками, такими как система копиров, набор кулачков, набор переставных упоров, например у копировальных станков, многошпиндельных токарных автоматов и агрегатных станков;
- числовое программное управление, когда последовательность действий механизмов станка и параметры их работы определяются в виде массива числовых кодов, предварительно записанных на том или ином носителе.

Системы управления на основе материальных задатчиков, представляющих собой модели-аналоги движения рабочих органов станка, в свою очередь, можно подразделить на системы незамкнутого типа, когда перемещение рабочего органа станка осуществляется под непосредственным силовым воздействием материального задатчика, и системы замкнутого типа, когда материальный задатчик воздействует на некоторую промежуточную систему, осуществляющую преобразование информации этого задатчика. Примером незамкнутого типа системы управления непосредственно от материальных задатчиков, или системы управления прямого действия, может служить вертикальный многошпиндельный токарный автомат, где движения поперечных суппортов осуществляются от непосредственного воздействия профиля барабанного кулачка-копира. Примером применения замкнутого типа системы управления может служить гидрокопировальный токарный полуавтомат.

Системы числового программного управления станками подразделяются на позиционные, контурные и универсальные.

В *позиционных* системах числового программного управления станками важны лишь координаты последней точки, в которую устанавливается рабочий орган станка, а траектория, по которой он перемещается в эту точку, не имеет значения. Примером могут служить координатно-расточные станки или дыропробивные прессы.

В *контурных* системах числового программного управления станками важна сама траектория, по которой рабочий орган станка

перемещается в заданную точку, а координаты этой последней точки не отслеживаются. Примером могут служить различные токарные, фрезерные и шлифовальные станки общего назначения.

В *универсальных* системах числового программного управления станками важна как траектория, по которой рабочий орган станка перемещается в заданную точку, так и координаты этой последней точки. Примером могут служить обрабатывающие центры различных типов и групп или, если следовать терминологии станкостроителей, применительно к обработке прямоугольных пространственных или плоских деталей — многоинструментные фрезерно-сверлильно-расточные станки с автоматической сменой инструмента. В последнее время стали известны блок-центры или агрегат-центры, в которых по заданной в виде массива чисел программе производится не только поиск и смена отдельных инструментов, как в традиционном «обрабатывающем центре», но и поиск и смена хранящихся в магазине силовых головок.

Соответствующая классификация систем управления отдельными станками приведена на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Классификация систем управления отдельными станками

Системы числового программного управления станками всех указанных типов могут также различаться по способу формирования массива числовых данных, образующих управляющую программу. В *оперативных* системах числового программного управления управляющая программа готовится в процессе обработки pilotной детали партии. В других системах числового программного управления управляющая программа готовится независимо от обработки детали, хотя для этого в большинстве случаев используются средства вычислительной техники и визуализации, входящие в состав системы числового программного управления данного станка.

Незамкнутые системы прямого управления станками формируют управляющее воздействие за счет энергии регулируемого параметра, например за счет усилия взаимодействия ролика толкателя копирующего механизма токарного автомата с канавкой закаленного барабана-копира, а замкнутые системы непрямого действия формируют управляющее воздействие за счет энергии дополнительного внешнего источника.

В зависимости от вида используемой внешней энергии системы непрямого действия могут быть подразделены на *электрические, гидравлические, пневматические* и *комбинированные*.

В зависимости от характеристик, которые реализуют автоматические системы управления, эти системы подразделяются на *линейные* и *нелинейные*. Линейными называют такие системы, у которых зависимость между установившимися значениями выходных и входных параметров представляет собой прямую линию, изображающую пропорциональную зависимость. Динамические переходные процессы в линейных системах описываются линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Нелинейные системы характеризуются нелинейными зависимостями между установившимися значениями входных и выходных величин. Динамические переходные процессы в нелинейных системах описываются нелинейными дифференциальными уравнениями. Фактически все реальные процессы и системы являются нелинейными, хотя и в различной степени. Для задач исследования и описания реальные нелинейные математические модели процессов и устройств часто линеаризуют, т.е. по определенным правилам заменяют приближенными к ним линейными моделями.

Если в системе управления есть хотя бы один дискретный элемент, то и вся эта система будет вести себя как дискретная. Если вся система управления или какой-либо ее элемент обладает релейным выходом, то вся эта система должна быть отнесена к релейным системам управления. Примером системы с релейным воздействием может служить система регулирования температуры в закалочной термопечи, которая включает или выключает нагре-

вательный элемент в зависимости от результатов измерения температуры в печи.

В зависимости от структуры все автоматические системы управления подразделяют на *одноконтурные* и *многоконтурные*. Под контуром в структурной схеме системы понимается замкнутый участок цепи, образованный элементами схемы и различного рода прямыми и обратными связями, существующими в этой схеме. Одноконтурные системы имеют лишь одну обратную связь. Многоконтурные системы имеют несколько прямых и обратных связей, каждая из которых образует свой замкнутый контур. Многоконтурные системы по сравнению с одноконтурными при прочих равных условиях обладают лучшими динамическими свойствами, но эти системы значительно сложнее для описания и анализа.

В зависимости от числа регулируемых параметров системы автоматического управления подразделяются на *одномерные* и *многомерные*. Одномерные системы характеризуются одним регулируемым параметром, а многомерные — несколькими.

Многомерные системы в свою очередь могут быть подразделены на системы *связанного* и *несвязанного* управления. Системы несвязанного управления характеризуются тем, что регуляторы каждого параметра непосредственной связи между собой не имеют и их взаимодействие осуществляется только через объект управления. В системах связанного управления регуляторы отдельных параметров, кроме того, что они взаимодействуют через общий для них объект управления, также и непосредственно связаны друг с другом.

Одним из основных требований к любой технической системе является ее *устойчивость*. Под *устойчивостью* системы понимается ее способность после приложения воздействия, выведшего ее из положения равновесия, придти в результате соответствующего переходного процесса в новое установившееся состояние. Однако это новое установившееся состояние для разных типов систем может быть различным, и различным может быть переходный процесс, который переводит различные системы в это новое устойчивое состояние.

Все автоматические системы, использующие информацию о параметрах производственного процесса для воздействия на этот производственный процесс, можно подразделить на три группы:

- системы автоматической стабилизации;
- системы программного управления;
- следящие системы.

В системах автоматической стабилизации значение регулируемого параметра поддерживается постоянным независимо от изменения нагрузки и от других возмущающих воздействий. Примером, характерным для машиностроения, может слу-

жить система поддержания постоянства оборотов электродвигателя независимо от нагрузки. Колебания нагрузки на практике возникают всегда вследствие различных условий смазки направляющих, использования многолезвийного инструмента (фрезы) и др.

В системах программного управления значение регулируемого параметра задается другим параметром, изменение которого заранее предписано (запрограммировано). Примером системы такого рода может служить, в частности, числовое программное управление, где изменение регулируемого параметра, которым является положение рабочего органа станка — суппорта или рабочего стола — задается программой его перемещения, заданной заранее в виде определенным образом организованного набора чисел, называемого управляющей программой (УП).

Наконец, изменение регулируемого параметра может происходить в соответствии с изменением другого параметра, изменение которого заранее не предопределено. Примером системы такого рода может служить усилитель мощности в разомкнутых системах, где задатчиком является маломощный шаговый двигатель.

Различного рода копировальные станки, характерным примером которых являются гидрокopировальные токарные полуавтоматы, также можно рассматривать как технические системы, в которых перемещение поперечного суппорта «отслеживает» перемещение шупа (копира), движущегося по шаблону, изображающему осевое сечение детали, обрабатываемой в данный момент времени.

Границы между этими типами систем управления являются весьма условными. Например, гидросистема гидрокopировального токарного полуавтомата, которая относится к автоматическим системам управления следящего типа, может также считаться и системой программного управления, в которой программа обработки конкретной детали задается заранее в виде материального копира (мастер-шаблона), изготовляемого из какого-либо легко обрабатываемого материала.

4.2. Копировальные станки

Характерным примером систем автоматизации управления отдельных станков являются *системы копирования*. С их помощью получают детали пространственной формы. Такие детали не поддаются обработке или недостаточно эффективно обрабатываются на обычных станках. К подобным деталям относятся судовые гребные винты, лопатки газовых, паровых и гидравлических турбин, лопасти воздушных винтов самолетов, прессформы, литейные формы и кокили, кулачки и т. п.

Системы прямого копирования. На копировальных станках профиль обрабатываемой детали обычно формируется путем сочетания двух движений: детали и инструмента. Результирующее перемещение инструмента относительно детали образуется геометрическим сложением векторов этих перемещений. Одно из этих движений, а именно: непрерывное движение копира (шаблона обрабатываемой детали) с постоянной скоростью вдоль одной из координатных осей, называется *задающей подачей* $S_{зад}$, а другое, представляющее собой вынужденное движение копировального шупа вдоль перпендикулярной оси, называется *следящей подачей* $S_{сл}$. Следящая подача в зависимости от изменения наклона, определяемого профилем шаблона, может изменяться как по величине, так и по знаку. Образование *результирующей подачи* S_p , показано на рис. 4.2.

Копировальные станки, как правило, конструктивно выполняются в виде полуавтоматов, где автоматизированы только операции собственно обработки. Это объясняется тем, что сложность воспроизводимого профиля детали и относительная длительность ее обработки делают время операции загрузки-выгрузки относительно всего штучного времени менее значащим. В последнее время в производстве все в более широкой степени применяются различного рода автооператоры и роботы-загрузчики, обеспечивающие работу копировальных станков в режиме полного автомата.

Однако метод прямого копирования и перемещения режущего инструмента под непосредственным воздействием копира, обладает рядом принципиальных недостатков, среди которых можно назвать следующие:

- точность изготовления копира (шаблона) непосредственно влияет на точность обработки детали;
- требуется изготовление как копира (шаблона), так и шупа (ролика), непосредственно контактирующего с копиром, из износостойкого материала, большей частью из закаливаемых инструментальных сталей, потому что усилие резания непосредственно создается воздействием копира (шаблона) на копировальный шуп (ролик);

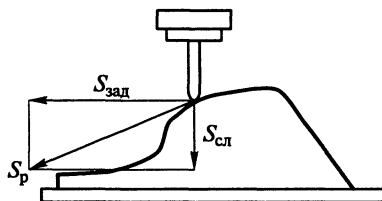


Рис. 4.2. Схема образования результирующей подачи при копировании

- сложность точного изготовления копира из труднообрабатываемого материала типа закаливаемых инструментальных сталей;
- необходимость частого изготовления копира (шаблона) вследствие больших усилий в точке контакта копира (шаблона) с копирующим шупом (роликом) и относительно быстрого износа этого копира и потери точности;

- необходимость в специальной конструкции точной и жесткой кинематической цепи между копиром (шаблоном) и копирующим шупом (роликом);

- необходимость подстройки в процессе эксплуатации передаточного отношения кинематической цепи между копиром (шаблоном) и копирующим шупом (роликом) вследствие дрейфа точности копирования;

- трудность поддержания постоянства результирующей подачи, что необходимо из технологических соображений, так как именно результирующая подача создает вектор контурной скорости, касательный к воспроизводимому профилю.

Необходимость многократного точного изготовления копира (шаблона) из труднообрабатываемого материала является основным моментом, затрудняющим эксплуатацию станков, использующих метод прямого копирования. Поэтому такой метод копирования применяется в основном в редко переналаживаемом, но в высокоавтоматизированном производстве, например в производстве шарико- и роликоподшипников.

Большое распространение в практике таких редко переналаживаемых производств с массовым характером выпуска получили одношпиндельные токарные автоматы, работающие с прутковыми заготовками и использующие распределительный вал с кулачками.

Для таких автоматов характерно наличие двух ветвей передачи движения: ветви главного движения — от приводного электродвигателя к рабочему шпинделю, и ветви подач — от этого же электродвигателя к распределительному валу. Самой простой является кинематическая схема такого копирующего станка, у которого подачи рабочих суппортов обеспечиваются профилями сменных кулачков, устанавливаемых на распределительном валу, причем этот распределительный вал вращается равномерно. Так, в частности, устроены и работают широко распространенные автоматы для фасонного продольного точения, а также почти все токарно-револьверные автоматы.

Многошпиндельные токарные автоматы имеют распределительный вал специальной конструкции. Распределительные валы многошпиндельных автоматов могут состоять из нескольких участков, но эти участки распределительных валов, характеризующиеся различными ориентацией и методами крепления кулачков, кинематически связаны друг с другом. Каждый из участ-

ков распределительного вала такого автомата соответствует своему шпинделю.

Системы копирования с промежуточными следящими усилительными системами. Более универсальными являются системы копирования с использованием промежуточных следящих усилительных систем. По большей части такие промежуточные следящие усилительные системы являются гидравлическими. Примером такого рода является хорошо известный токарный гидроконтрольный полуавтомат. Все гидравлические системы обладают рядом недостатков несмотря на их положительные стороны. Поэтому наряду с такими системами используются также электрические промежуточные следящие усилительные системы, а также пневматические и комбинированные (электрогидравлические, электропневматические, гидропневматические, электрогидропневматические) системы.

Несмотря на разнообразие физической природы промежуточных следящих усилительных систем принцип их действия всегда один и тот же.

Он состоит в том, что сравнивается фактическое положение рабочего органа, перемещаемого тем или иным исполнительным приводом, с требуемой величиной перемещения. Полученная разность усиливается и используется для управления перемещением этого рабочего органа.

Системы копирования с использованием промежуточных усилительных систем не требуют осуществления непосредственного силового контакта копируемого шупа с шаблоном. В таких системах копир (шаблон) за счет использования дополнительных внешних источников энергии разгружен от усилий резания.

Сущность электрической следящей системы копируемого фрезерного станка иллюстрируется схемой, приведенной на рис. 4.3.

Согласно этому рисунку фрезерная обработка детали 10 производится по копиру (шаблону) 3, который вместе с деталью 10 устанавливается на рабочем столе 2. Этот рабочий стол перемещается в результате воздействия привода 1 в направлении задающей подачи $S_{зад}$. Фреза 9, привод вращения которой здесь не показан, получает следящую подачу $S_{сл}$, поскольку она связана с исполнительным рабочим органом 8. Рассогласование фактической траектории фрезы 9 относительно детали 10 и той траектории, которая задается профилем копира (шаблона) 3, определяется копирующим устройством, состоящим из потенциометрического датчика 5, усилителя 6 для сигнала рассогласования положений движков потенциометра этого датчика, левый из которых связан с положением копируемого шупа 4, а правый — с положением фрезы 9, однозначно определяемым положением исполнительного рабочего органа 8, а также исполнительным сервоприводом 7.

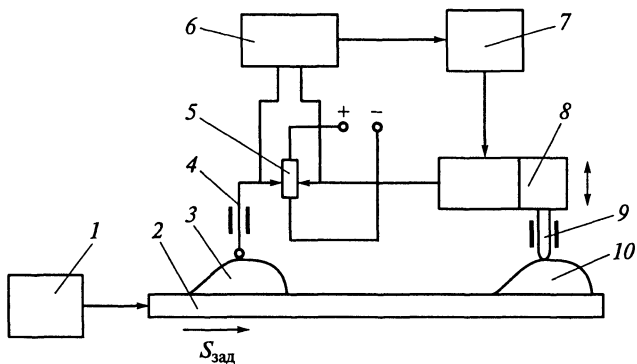


Рис. 4.3. Схема электрокопирования при фрезеровании:

1 — привод; 2 — рабочий стол; 3 — копир; 4 — шуп; 5 — потенциометр; 6 — усилитель; 7 — сервопривод; 8 — рабочий орган; 9 — фреза; 10 — деталь

На усилитель 6 будет поступать сигнал только в том случае, если движки потенциометра 5 не находятся напротив друг друга, причем знак этого сигнала определяется тем, какой из двух движков, левый или правый, находится выше другого. Соответственно направление вращения электродвигателя исполнительного сервопривода 7, определяемого знаком напряжения сигнала, поступающего на усилитель 6, будет таким, чтобы положение фрезы 9 относительно детали 10, совпадало с положением шупа 4 относительно копира 3. Только в случае полного совпадения положения фрезы 9 относительно детали 10 с положением шупа 4 относительно копира 3 и, соответственно, нахождения движков потенциометра напротив друг друга, электродвигатель исполнительного привода 7 будет находиться в покое. В итоге оказывается, что фреза 9 следит за движением шупа 4.

Примером гидравлических следящих систем, которые широко применяются в копировальных станках и в автоматическом технологическом оборудовании, может служить гидравлический копировальный токарный полуавтомат, схема работы которого представлена на рис. 4.4.

Копировальный шуп 4 касается профиля копира 5, представляющего собой осевое сечение обрабатываемой детали 6. Копировальный шуп 4 связан с гидрозолотником 2, перемещающимся внутри корпуса 1. К середине корпуса 1 гидрозолотника 2 подводится через соответствующий трубопровод 3 рабочая жидкость от гидронасоса, являющегося внешним источником энергии. Обработка детали 6 производится резцом 7, закрепленным в державке 8, жестко связанной с корпусом 1 гидрозолотника 2. Поперечное перемещение державки 8, установленной на поперечном суппор-

те, осуществляется штоком поршня 9, перемещающегося внутри гидроцилиндра 10. Гидроцилиндр 10 жестко закреплен на неподвижной станине станка. При продольной подаче копировальный шуп 4 взаимодействует с профилем копира 5, перемещается вверх или вниз и перемещает гидрозолотник 2. Кромки гидрозолотника 2 открывают подачу поступающей рабочей жидкости в нижнюю или верхнюю полости рабочего гидроцилиндра 10 и слив рабочей жидкости из противоположных полостей рабочего гидроцилиндра 10.

Под давлением поступающего масла поршень 9 перемещается в гидроцилиндре 10 и одновременно перемещает с требуемым усилием державку 8 с закрепленным в ней резцом 7. Благодаря этому деталь 6 обрабатывается с нужным углом профиля. Движение державки 8 вызывает и соответствующее перемещение корпуса 1 гидрозолотника 2.

Только когда перемещение державки 8 с резцом 7 уравнивается с перемещением копировального шупа 4, гидрозолотник 2 и его корпус 1 снова займут относительно друг друга исходное положение и подача масла в полости рабочего гидроцилиндра 10 будет перекрыта. Это значит, что положение резца 7 соответствует положению копировального шупа 4 и профиль детали 6 соответствует профилю копира 5.

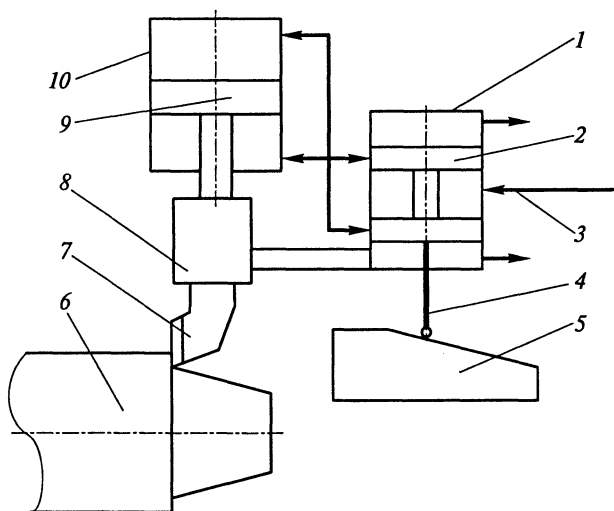


Рис. 4.4. Схема гидрокопирования при точении:

1 — корпус гидрозолотника; 2 — гидрозолотник; 3 — подводящий трубопровод; 4 — шуп; 5 — копира; 6 — деталь; 7 — резец; 8 — державка резца; 9 — поршень рабочего гидроцилиндра; 10 — рабочий гидроцилиндр

4.3. Системы числового программного управления станками

Что касается систем числового программного управления (ЧПУ) отдельными станками, то они позволяют сравнительно легко перенастраивать станок на изготовление другой детали. Следует, однако, заметить, что переход к обработке другой детали в таких станках не сводится лишь к смене управляющей программы. Кроме этого необходимо сменить и перенастроить режущие инструменты и технологическую оснастку, а также перенастроить систему упоров.

Системы числового программного управления станками представляют собой наиболее динамично развивающуюся группу систем управления технологическим оборудованием, которая в настоящее время практически вытесняет все другие типы систем автоматического управления в машиностроении.

Управляющая программа для станка с ЧПУ представляет собой совокупность текстов, записанных соответствующими унифицированными кодами. Она разбивается на ряд неделимых участков, называемых *кадрами*. Кадр управляющей программы представляет собой совокупность записей, однозначно определяющих функционирование всего станка и параметры этого функционирования в период между двумя соседними изменениями, пусть даже минимальными. Следует различать понятия «длина записей, составляющих кадр» и «длительность времени отработки данного кадра». Кадр, имеющий полную длину записи, например движение снятия фаски резцом, может обрабатываться на станке за очень короткое время. Наоборот, кадр фрезерования плоскости и снятия нескольких слоев припуска может иметь минимальную длину записи, но фактически обрабатываться на станке за длительное время. Структура и формат кадра управляющей программы регламентированы на международном и европейском уровнях. На международном уровне для управляющих программ используется код ISO, а на европейском — код EIA. Соответственно, одни станки с ЧПУ работают в коде ISO, другие — в коде EIA, а третьи работают в обоих кодах либо допускают переключение с одного кода на другой.

Следует различать управляющие программы обработки деталей, которые разрабатываются многократно за все время эксплуатации данного станка с ЧПУ индивидуально для каждой детали, обрабатываемой на данном станке, и программное обеспечение компьютера, являющегося базовым для используемой на данном станке системы ЧПУ, которое разрабатывается однократно на этапе проектирования данной системы ЧПУ.

Общая структура такого программного обеспечения, образующего соответствующие функциональные блоки системы ЧПУ,

приведена на рис. 4.5. Реализовываться она может разными способами. Функциональные блоки могут представлять собой программные блоки, если система ЧПУ реализуется на универсальном индивидуальном компьютере, что характерно для систем ЧПУ типа CNC. Функциональные блоки могут также реализовываться и схемным путем, что характерно для «жестких» цифровых схем ЧПУ. Указанные блоки могут также реализовываться микропрограммным путем, когда на этапе проектирования разработчик имеет доступ к микрокомандам, составляющим команды программ этих функциональных блоков, в результате чего он создает специализированное управляюще-вычислительное устройство. Специализированное управляюще-вычислительное устройство может также создаваться на основе предварительно запрограммированных на выполнение этих функций отдельных микропроцессоров, соединенных между собой в соответствии с его структурой.

Особого внимания при рассмотрении систем ЧПУ заслуживает *блок интерполяции*.



Рис. 4.5. Общая структура программного обеспечения системы числового программного управления станком

Профиль обрабатываемой детали приближенно с заданной степенью точности представляется (аппроксимируется) совокупностью отрезков прямых линий, в общем случае непараллельных координатным осям, и отрезков дуг. Это соответствует вычерчиванию детали на кульмане. Однако приводы программируемых координатных перемещений, реализуются ли они на шаговом двигателе, представляют ли собой тиристорный следящий электропривод или реализуются с помощью гидросхем, способны осуществлять лишь единичные перемещения вдоль соответствующих координатных осей. Обычно один импульс на входе такого координатного исполнительного привода «стоит» 0,01 мм перемещения рабочего органа станка с ЧПУ. Таким образом, участки профиля полученной на данном станке детали при рассмотрении с сильным увеличением представляют собой ломаную линию, отрезки которой параллельны координатным осям.

Ограничимся рассмотрением линейной и дуговой интерполяции. Дуговая интерполяция называется также круговой.

Линейная интерполяция. При линейной интерполяции отрезки прямой линии, в общем случае непараллельные осям координат, аппроксимируются ломаной линией, отрезки которой параллельны координатным осям. Эти отрезки равны между собой, и их длина соответствует цене одного элементарного шага по координатным осям.

При дуговой (круговой) интерполяции такой ломаной линией приближенно представляются дуговые участки профиля детали.

Задача интерполяционных расчетов состоит в том, чтобы, учитывая требуемую траекторию движения исполнительного органа на основе фактического положения этого органа, достигнутого после предыдущего шага, определить направление следующего шага еще до того, как он будет фактически осуществлен. Иными словами, при решении задачи интерполяции по координатам начала и конца аппроксимируемого отрезка прямой (в случае линейной интерполяции) или же по координатам начала и конца аппроксимируемого участка дуги, а также ее центра (в случае дуговой интерполяции) находятся координаты всех промежуточных точек траектории движения рабочего органа от начала к концу. Интерполяционные расчеты выполняются на высокой скорости, характерной для устройств вычислительной техники, во время пауз между фактическим осуществлением механических движений по координатным осям.

Интерполяционные расчеты могут осуществляться на основе различных математических методов. Рассмотрим интерполяцию по методу оценочной функции, поскольку именно этот метод наиболее широко применяется в настоящее время.

На рис. 4.6, а изображен процесс линейной интерполяции. Здесь показан процесс поиска направления следующего шага после того,

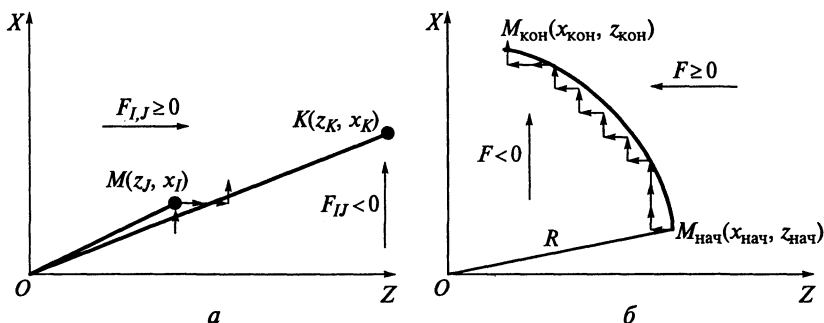


Рис. 4.6. Линейная и дуговая интерполяции по методу оценочной функции:
 а — линейная интерполяция; б — дуговая интерполяция

как в результате предыдущего шага исполнительный орган оказался в точке M с координатами x_J и z_J . Это направление должно определяться таким образом, чтобы отклонения реально получаемого в результате выполнения этого шага профиля от заданного отрезка прямой линии OK были минимальными. Для простоты будем считать, что начало O аппроксимируемого отрезка прямой OK совмещено с началом координат.

Разность угловых коэффициентов отрезков OK и OM будем обозначать $F_{I,J}^* = x_J/z_J - x_K/z_K$ и с точностью до положительного множителя $z_J z_K$, отбрасывание которого не изменит знака $F_{I,J}^*$, примем $F_{I,J} = x_J z_K - x_K z_J$. Большему углу, который отрезки OK и OM образуют с осью абсцисс, соответствуют и большие угловые коэффициенты этих отрезков.

Величина $F_{I,J}$ называется *оценочной функцией*. Эта величина может быть положительной или отрицательной в зависимости от того, по какую сторону от прямой OK лежит текущая точка M .

Из рис. 4.6, а видно, что если $F_{I,J} \geq 0$, то для приближения к заданному отрезку OK следующий шаг надо совершить по оси Z , а если $F_{I,J} < 0$ — то по оси X . После шага по оси X новое значение текущей координаты (для 1-го квадранта) определяется выражением $x_{J+1} = x_J + 1$, а новое значение оценочной функции $F_{I+1,J}$ определится из соотношения $F_{I+1,J} = (x_J + 1)z_K - x_K z_J = F_{I,J} + z_K$. После шага по оси Z новое значение текущей координаты $z_{J+1} = z_J + 1$, а новое значение оценочной функции будет равняться $F_{I,J+1} = x_J z_K - x_K (z_J + 1) = F_{I,J} - x_K$. Начальное значение оценочной функции равно нулю. Величины x_K и z_K называются константами линейной интерполяции.

Процесс нахождения новых значений координат положения рабочего органа станка и соответствующих им новых значений оценочной функции для новых воображаемых шагов повторяется,

пока с точностью до одного шага интерполяции не будет достигнута точка K .

Дуговая интерполяция. Случай дуговой интерполяции изображен на рис. 4.6, б. Хотя дуга окружности может быть геометрически однозначно задана разными способами, для определенности будем считать, что дуга окружности задана такими параметрами, как координаты начальной и конечной точек интерполируемой дуги, координатами центра O этой дуги, а также признаком направления движений по этой дуге. Для определенности будем считать, что движение осуществляется в 1-м квадранте против часовой стрелки и центр дуги помещен в начало координат. Методика дуговой интерполяции по методу оценочной функции легко обобщается на случаи движения в остальных квадрантах и в направлении движения часовой стрелки, а также для других способов задания дуги окружности. Это обобщение сводится к изменению знаков единичных шагов при движении по тем или иным координатным осям. Координаты центра окружности, а также ее начала и конца, как и величина ее радиуса, вычисляются с помощью соответствующих геометрических расчетов.

Расстояние $R_{I,J}$ от начала координат до текущей точки траектории с координатами x_J и z_J определяется соотношением

$$R_{I,J} = (x_J^2 + z_J^2)^{1/2}.$$

Оценочная функция в этом случае определяется знаком разности квадратов текущей длины радиуса-вектора $R_{I,J}$ фактической траектории и заданного значения радиуса дуги R . Иными словами,

$$F_{I,J} = x_J^2 + z_J^2 - R^2.$$

Дуга окружности заданного радиуса R делит плоскость квадранта, в котором она расположена, на две области. Область, в которой $F_{I,J} < 0$, находится внутри дуги, область, где $F_{I,J} > 0$ — вне дуги, а на самой дуге $F_{I,J} = 0$. Таким образом, если $F_{I,J} \geq 0$, то шаг следует делать в отрицательном направлении оси Z ; если $F_{I,J} < 0$, то шаг следует делать в положительном направлении оси X . Начальное значение оценочной функции равно нулю.

При шаге по оси Z получаем для нового значения этой координаты величину $z_{J+1} = z_J - 1$, а соответствующая оценочная функция в таком случае

$$F_{I,J+1} = x_J^2 + (z_J - 1)^2 - R^2 = F_{I,J} + (-2z_J + 1).$$

При шаге по оси X получаем для нового значения этой координаты величину $x_{J+1} = x_J + 1$. Оценочная функция в таком случае

$$F_{I+1,J} = (x_J + 1)^2 + z_J^2 - R^2 = F_{I,J} + (2x_J + 1).$$

Величины $(-2z_J + 1)$ и $(2x_J + 1)$ для общности называются константами дуговой интерполяции в точке с координатами x_J и z_J . На

самом деле эти величины не являются константами на всем интервале дуговой интерполяции и должны рассчитываться для каждой промежуточной точки заново.

Кроме задач интерполяции устройство ЧПУ должно выполнять и все другие необходимые функции обработки информации, соответствующие показанным на рис. 4.5 функциональным блокам.

Для систем ЧПУ, использующих средства вычислительной техники и, таким образом, осуществляющих гибкое автоматическое управление технологическим оборудованием, характерны следующие режимы:

- режим ввода информации;
- автоматический рабочий режим;
- режим вмешательства оператора в процесс автоматического управления;
- ручной режим;
- режим редактирования управляющей программы;
- режим вывода информации;
- режим вычислений;
- дисплейный режим;
- режим диагностирования.

Рассмотрим некоторые функциональные блоки, изображенные на рис. 4.5.

Организирующий блок-супервизор осуществляет включение тех или иных функциональных блоков. В случае программной реализации этих блоков блок-супервизор осуществляет передачу управления.

Его единственной функцией является разобраться в ситуации, определяемой сигналами, поступающими от датчиков состояния рабочих органов станка, и командами управляющей программы, и включить соответствующий функциональный блок.

Блок управления загрузкой, начинающий свою работу по указанию блока-супервизора, осуществляет ввод и расшифровку кадра управляющей программы. В расшифрованном массиве кадра должна содержаться информация, необходимая для работы блоков управления станком.

В случае разгона рабочего органа проверяется, не превышает ли заданное приращение его скорости $V_{\text{зад}}$ допустимую величину, и если оказывается, что превышает, то назначаются максимально допустимая величина «наброса» скорости ΔV (высота «ступеньки» при ступенчатом приближении к заданной скорости) и время Δt «выстоя» на этой скорости (ширина «ступеньки» при ступенчатом приближении к заданной скорости).

В случае торможения рабочего органа при его приближении к заданной точке определяется момент перехода на «ползучую» по-

дачу, обеспечивающую достижение заданной точности, а затем скорость исполнительного органа ступенчато снижается до этой «ползучей» скорости.

В функции блока задания скорости входит также «загрубление» цены одного импульса при наличии в кадре управляющей программы признака быстрого хода. Такое изменение дискретности привода может быть достигнуто различными переключениями в схеме управления им.

Из технологических соображений при обработке контуров различного профиля должно поддерживаться постоянство скорости, направленной по касательной к этому контуру.

Угол подъема контура, т. е. соотношение между приращениями кривой профиля контура по осям координат, может быть различным.

Поэтому различными должны быть и величины подач по различным координатным осям при соблюдении требуемого соотношения между этими величинами подач. Это осуществляется с помощью соответствующего функционального блока.

Другие функциональные блоки, выполняющие операции ввода и вывода данных для их индикации, а также операции по восприятию команд от специализированных органов управления, зависят от номенклатуры и типов используемых средств вычислительной техники, конструкции автоматизируемого станка, состава пульта управления и индикации и т. д.

4.4. Управляющие программы для станков с ЧПУ

Управляющие программы для станков с ЧПУ могут создаваться различными способами и на различном оборудовании:

- с помощью специальных проблемно-ориентированных пакетов программирующих программ с использованием компьютерных средств, входящих в состав системы управления данным станочным комплексом;
- с помощью системных средств редактирования с использованием компьютерных средств, входящих в состав системы управления данным станочным комплексом;
- на компьютерных средствах автоматизированной системы управления (АСУ) общезаводского уровня с использованием каналов связи;
- каким-либо неавтоматизированным способом с привлечением технологов-программистов;
- непосредственно при обработке пилотной детали с кодированием хода ее обработки, что характерно для оперативных систем и систем типа CNC.

Независимо от способа создания управляющей программы и используемых для этого устройств ее кадр должен содержать следующую информацию для управления станком с ЧПУ:

- *геометрическую* информацию, определяющую геометрические параметры программируемых движений;
- *технологическую* информацию, определяющую такие параметры этих движений, как скорость вращения шпинделя, скорость координатных подач, номер выбираемого инструмента для многоинструментных станков и др.;
- *вспомогательную* информацию, определяющую рабочие режимы совершаемого программного управления и имеющую своим адресатом вспомогательные механизмы станка с ЧПУ.

Сопроводительная информация для управляющих программ станков, входящих в состав автоматизируемых станочных комплексов, используется персоналом и содержит такие данные, как шифр соответствующего технологического маршрута, основные параметры программируемой детали, код и параметры используемой заготовки, код и параметры используемого станка с ЧПУ, код и параметры используемой оснастки, код и параметры используемых режущих инструментов, их размещение в инструментальном магазине, а также расчетные машинные времена работы каждого инструмента (штучное, вспомогательное подготовительно-заключительное время для обрабатываемой детали), шифр и наименование данной управляющей программы в целом.

Если разработан полный технологический процесс получения требуемой детали, включающий в себя выбор используемого станка в соответствии с разработанной маршрутной технологией, выполнение операций на данном станке и операций на расчетных режимах с использованием заданной в технологической документации оснастки и инструмента при определенной установке исходной заготовки, то для составления управляющей программы можно привлечь технологов-программистов. Эти специалисты должны осуществить кодирование информации в соответствии с прилагающейся к каждому станку с ЧПУ инструкцией по программированию.

При этом следует учесть, что вся информация, необходимая для изготовления детали, содержится в ее рабочем чертеже, от которого нельзя отклоняться. Для того чтобы сократить объем используемых данных и избежать после выбора маршрута движения детали по базовым станкам необходимости разработки полной технологической документации, используются системы автоматизированной подготовки управляющих программ (САП).

Степень автоматизации подобных САП может быть различной. Современные САП строятся по принципу «процессор-постпроцессор». Не следует путать понятие «процессор», используемое в САП, с понятием «процессор», которое в описаниях комплексов технических средств компьютерной техники означает базовое вы-

числительное устройство. Здесь «процессор» обозначает универсальный для данной САП программный блок, ориентированный на получение на некотором стандартизированном языке исчерпывающего описания данной детали и процедуры ее обработки. Затем ориентированная на конкретный станок специальная программа преобразует данные, сформированные процессором, в управляющую программу, предназначенную для данного конкретного станка. Такой стандартизированный промежуточный язык процессор-постпроцессор называется языком CLDATA (*англ.* cutter location data — данные по положению режущей точки).

При построении САП возникает много проблем, одна из которых заключается в том, что в общем случае программируемая траектория движения режущего инструмента и профиль обрабатываемой детали не совпадают.

Примером тому может служить обработка внутренней поверхности детали, называемой стаканом. Этот профиль является простейшим, поскольку он образован двумя прямыми линиями, параллельными координатным осям.

Тем не менее для получения этого профиля нельзя сразу направить по нему чистовой резец, а нужно сначала зацентрировать заготовку, затем сменить инструмент и осуществить предварительное сверление, затем снова сменить инструмент и произвести рассверловку ранее полученного отверстия сверлом большего диаметра, затем снова сменить инструмент и в несколько проходов проходным резцом снять изнутри полученного отверстия слой металла, оставив припуск на чистовую обработку, а затем снова сменить инструмент и чистовым резцом пройти вдоль требуемого профиля.

Для современных САП характерно использование типовых технологических схем обработки типовых конструктивных элементов. Технологические схемы обработки тех или иных конструктивных элементов могут быть различными. Например, получить несколько крепежных отверстий, равномерно расположенных по фланцу некоторой детали, можно, по крайней мере, двумя способами.

1. Сначала зацентрировать одно отверстие, затем сменить инструмент на сверло и просверлить это отверстие. После этого, осуществив поворот на заданный угол, снова сменить инструмент на исходную центровку и повторить цикл получения уже нового отверстия и так далее до получения последнего отверстия.

2. Не меняя инструмента, пройти центровкой все заданные отверстия и вернуться в исходное положение, после чего сменить инструмент на сверло и пройти им все зацентрированные отверстия.

Применительно к токарной обработке деталей типа тел вращения типовыми конструктивными элементами являются:

- зона черновой обработки;

- выемка;
- черновая контурная и контурная зоны;
- канавки.

Применительно к фрезерной обработке типовыми конструктивными элементами являются:

- зоны черновой обработки, которые, в свою очередь, подразделяются на открытые и полузакрытые;
- зоны обработки карманов и пазух;
- зоны контурной черновой обработки;
- зоны контурной чистовой обработки;
- линейные зоны.

При осуществлении фрезерно-сверлильно-расточной обработки на станках типа обрабатывающий центр часто встречаются детали с повторяющейся геометрией контуров отдельных частей, которые, однако, смещены или повернуты друг относительно друга. Примером могут служить звездочки движителей гусеничных машин.

Такие повторяющиеся исходные одинаковые элементарные участки, образующие при своем смещении или повороте сложные контуры, называются *конгруэнтными фигурами*. Для упрощения и сокращения задания исходной информации целесообразно описать одну такую фигуру, а затем путем сдвигов или поворотов этой фигуры получить описания и других конгруэнтных фигур. С этой целью современные САП содержат такие операции преобразования контуров, как повторение со смещением, повторение с поворотом на заданный угол, зеркальное отображение.

Как правило, управляющие программы для реализации станком с ЧПУ типовых технологических схем обработки типовых конструктивных элементов реализуются в виде *макроопределений*, или *макросов*.

Под макроопределением в данном случае понимается набор элементов текста управляющей программы, описывающий определенную последовательность действий органов станка с соответствующими параметрами этих действий, имеющий свое уникальное наименование и допускающий многократное использование путем вызова по этому имени.

Исходный текст макроопределения записывается с использованием формальных параметров, обозначенных буквенными выражениями.

При вызове данного макроопределения этим формальным параметрам присваиваются фактические числовые значения, соответствующие конкретному применению вызываемого макроопределения.

В процессе эксплуатации САП число таких макроопределений увеличивается, так что САП с банком макроопределений можно назвать обучаемой.

4.5. Управление автоматическими циклами

Среди функциональных систем автоматического управления следует особо выделить автоматическое управление рабочими циклами. *Циклом* называется такая совокупность изменений рабочего параметра (положения исполнительных органов, величин давления, температуры и др.) или комбинаций нескольких рабочих параметров, которая заканчивается при том же значении этих параметров, при котором она началась.

Различают три типа автоматического технологического оборудования, использующего те или иные циклы:

- автоматическое оборудование, работающее по неизменяемому повторяющемуся рабочему циклу. Примером такого рода циклов являются агрегатные станки, выполняющие фрезерные, сверлильные расточные и резбонарезные операции путем осуществления движений многошпиндельных силовых головок. Многошпиндельные силовые головки в таких станках после возврата в исходное положение сразу же начинают новый, но повторяющийся цикл движений;

- автоматическое оборудование, работающее по неизменяемому рабочему циклу, у которого начало очередного цикла происходит в разные моменты времени, поскольку оно определяется специальным командным сигналом. Примером может служить выполнение автооператором в нужный момент циклов смены режущего инструмента в многоинструментных станках с автоматической сменой инструмента, т. е. в станках типа «обрабатывающий центр». В таких станках автооператор, осуществляющий автоматическую смену инструмента, возвратившись в исходное положение, начинает новый цикл движений только после получения соответствующего командного сигнала;

- автоматическое оборудование, в котором момент начала очередного цикла изменяется, поскольку этот момент определяется специальным командным сигналом, и сам этот цикл может изменяться. Примером могут служить рабочие циклы, которые задаются для каждой детали в виде индивидуальных материальных моделей-аналогов (шаблонов, наборов кулачков, системы упоров и т. д.).

Важной разновидностью автоматического оборудования, реализующего автоматические рабочие циклы механической обработки, являются *агрегатные станки*, построенные из унифицированных узлов. К ним относятся такие станки, которые komponуются из самостоятельных функциональных унифицированных и частично специализированных узлов и деталей путем объединения их в единый агрегат с общей системой управления.

Агрегатные станки являются специальными станками, которые применяются, главным образом, в массовом и крупносерийном производствах. Однако агрегатные станки с переналаживаем-

мыми узлами, использующими числовое программное управление, могут применяться также и в серийном производстве.

Классификация унифицированных узлов агрегатных станков приведена на рис. 4.7.

Агрегатные станки подразделяются на малые — с небольшими силовыми головками с выдвигной пинолью мощностью в пределах 0,18...0,75 кВт, средние — с силовыми головками с выдвигными пинолями и кулачковым приводом мощностью в пределах 1,1...3,0 кВт, крупные — со специальными гидравлическими или электромеханическими столами, на которых устанавливают различные шпиндельные узлы.

Принято также различать одно- и многопозиционные агрегатные станки.

В многопозиционных агрегатных станках заготовка обрабатывается за несколько переходов, проходя при этом несколько рабочих позиций последовательно, параллельно или последовательно-параллельно.

Типовыми компоновками агрегатных станков являются *вертикальная* или *горизонтальная*.



Рис. 4.7. Классификационная схема унифицированных узлов агрегатных станков

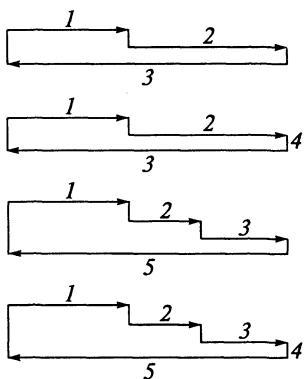


Рис. 4.8. Схемы циклов движений силовых головок:

1 — быстрый подвод силовых головок; 2 — рабочая подача силовых головок одного значения; 3 — рабочая подача силовых головок другого значения; 4 — выстой на жестком упоре; 5 — быстрый возврат силовых головок в исходное положение

Возможные циклы движений для силовых головок, встречающиеся в технологических процессах механической обработки, приведены на рис. 4.8.

Возможны и другие варианты циклов движений силовых головок агрегатных станков.

Системы управления технологическими циклами обработки традиционно строятся на базе логических переключательных схем либо на базе электромеханических кулачковых командоаппаратов, нажимающих (при вращении вала с кулачками) в нужной последовательности на устройства типа путевых переключателей, воздействующих на электрические исполнительные цепи. Задающий кулачковый вал такого командоаппарата может вращаться либо с постоянной скоростью согласованно с движением главного привода, либо он может поворачиваться в стартстопном режиме, когда его вращение включается лишь по сигналу о выполнении команд, включенных во время его же предыдущего движения.

Для систем управления автоматическим циклом технологического оборудования со сменными кулачками задающего вала командоаппарата или со сменной системой упоров проектирование рабочего цикла для получения детали согласно ее рабочему чертежу состоит из следующих стадий:

- составление схемы обработки, представляющей собой последовательность операций, выполняемых на данном оборудовании;
- составление расчетного листа наладки, включающего в себя параметры режимов, на которых должны выполняться эти операции;
- построение циклограмм, содержащих значения длительностей времени движений рабочих органов и причинно-следственные связи между этими движениями.

При осуществлении автоматических циклов используется как управление в функции времени, так и в функции пути или же (в случае использования гидро- или пневмосистем) в функции давления.

4.6. Реализация систем управления на базе программируемых логических контроллеров

Традиционно управление автоматическими циклами работы технологического оборудования осуществлялось с помощью схем релейно-контактной автоматики. Такое решение обеспечивает выполнение всех требуемых функций, что подтверждается всей многолетней практикой автоматизации. В то же время такое решение обладает и рядом принципиальных недостатков.

Основными из этих недостатков являются:

- необходимость разработки для каждого объекта автоматизации своей особенной принципиальной релейно-контактной схемы;

- необходимость разработки полной конструкторской документации на релейно-контактное устройство, реализующее данную принципиальную схему, включая выбор нужного числа типовых конструктивов (шкафов, монтажных субблоков, панелей, пультов, разъемов, коробов и т. п.), а также серийно выпускаемых и доступных электрических аппаратов, определяемых данной принципиальной схемой, выпуск соответствующих сборочных и рабочих чертежей и спецификаций;

- необходимость разработки полной технологической документации на данное конкретное релейно-контактное устройство, включая разработку маршрутной и операционной технологии изготовления и сборки, составление спецификаций и заказ стандартного режущего и вспомогательного инструмента, конструирование специального режущего и вспомогательного инструмента;

- необходимость подготовки и организации производства данного релейно-контактного устройства, включая выбор и организацию отношений с поставщиками, создание необходимых запасов сырья и комплектующих изделий, планирование и организацию производственного процесса;

- необходимость выполнения всего производственного цикла данного конкретного устройства, включая изготовление специальных и комплектацию типовых компонентов, сборку и подсортку данного конкретного устройства, осуществление всего объема монтажных работ;

- необходимость проведения для реализованного таким образом данного конкретного устройства полного объема его испытаний на функциональное соответствие, надежность (определятельных и контрольных), эргономичность, включая разработку программы и методики испытаний, а также проектирование, изготовление и проверку испытательных стендов;

- значительные габаритные размеры и энергопотребление реализованного таким образом конкретного устройства;

- отсутствие формализованных методов и средств для диагностирования и локализации неисправностей в реализованном таким образом конкретном устройстве;

- потенциальная ненадежность, связанная с большим числом электрических контактов в реализованном таким образом конкретном устройстве.

Первым шагом на пути перехода к более высокому техническому уровню систем управления автоматическими циклами стали попытки прямой замены элементов релейно-контактных схем их бесконтактными эквивалентами. Однако при этом исключался лишь один, хотя и очень важный, недостаток релейно-контактных схем, а именно их потенциальная ненадежность, обусловленная большим числом задействованных контактов. При этом возникали дополнительные трудности наладки и диагностирования, связанные с отсутствием наглядной визуализации срабатывания или несрабатывания элементов, а также трудности в «размножении» сигналов, которое в традиционных релейно-контактных схемах обеспечивалось наличием нескольких пар контактов у одного реле.

Поэтому наряду с использованием новой элементной базы оказалось необходимым применить и новые принципы построения систем управления автоматическими циклами. Создание современных систем управления стало возможным с появлением специального универсального устройства: программируемого логического контроллера (ПЛК) (*англ.* PLC — Programmable Logical Controller).

Программируемый логический контроллер представляет собой комплектующее универсальное цифровое устройство, которое потребители, а не изготовители, настраивают на управление конкретным циклом путем занесения в его память соответствующей рабочей программы (совокупности операторов) и соответствующей реализации его адресов с входными и выходными сигналами объекта управления, являющимися операндами.

Программируемый логический контроллер построен по тем же принципам, что и универсальная цифровая вычислительная машина, поэтому с созданием ПЛК у изготовителя оказалась решенной проблема серийности и номенклатуры. Указанная проблема заключается в том, что изделие, выпускаемое по заказу для управления тем или иным конкретным объектом управления, не может изготавливаться большой серией. Решением подобной проблемы является выпуск изготовителем большой серии универсальных устройств, которые «привязываются» к тому или иному конкретному объекту силами самих потребителей, автоматизирующих этот конкретный объект управления.

Конструктивно ПЛК выпускаются либо в приборном исполнении, предусматривающем установку данного ПЛК на столе, либо

в консольном в исполнении, предусматривающем установку данного ПЛК на стене.

Являясь универсальным цифровым вычислительным устройством, ПЛК содержит все характерные для персонального компьютера функциональные блоки, а именно: процессор, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), устройство ввода-вывода и индицирующее устройство.

Вместе с тем ПЛК по своим архитектурным принципам характеризуется и существенными структурными особенностями, отличающими его от персонального компьютера:

- разрядная сетка ПЛК содержит в принципе лишь один разряд. Это значит, что в таком контроллере предусматривается обработка не заданных пакетами сигналов в том или ином цифровом коде чисел, а отдельных дискретных сигналов о срабатывании или несрабатывании предельных датчиков состояния тех или иных рабочих органов. Результатом произведенной обработки этих сигналов являются также дискретные сигналы типа «включить» или «выключить», адресованные соответствующему исполнительному механизму;

- минимально необходимая система команд ПЛК может быть ограничена лишь несколькими логическими операциями. Таковыми в случае использования так называемого нормального логического базиса являются три операции: дизъюнкция (соответствующая параллельному соединению), конъюнкция (соответствующая последовательному соединению) и отрицание (соответствующее инвертирующему контакту). Наличие в системе команд ПЛК этих операций позволяет создавать программные эквиваленты любых релейно-контактных структур;

- входной язык программирования ПЛК основан на представлении реализуемых им команд в виде булевых операторов (операторов алгебры логики) либо в виде соответствующих им графических символов релейно-контактных схем. Фразы такого входного языка являются традиционными для проектировщиков принципиальных релейно-контактных схем автоматики;

- входными и выходными данными процесса вычислений являются не массивы алфавитно-цифровой информации, вводимой и редактируемой персоналом до начала либо по окончании процесса вычислительной обработки этих массивов и вне связи с объектом управления, а дискретные одноразрядные сигналы обмена данными с объектом управления, которые либо поступают в контроллер по мере их возникновения в объекте управления, либо генерируются самим контроллером в процессе вычислений.

Существенной и неотъемлемой особенностью всякого ПЛК является наличие в его составе устройств ввода-вывода сигналов. Указанные устройства на каналах связи с объектом должны иметь

параметры, используемые в данном конкретном объекте управления, а на каналах связи с ПЛК — параметры, используемые в данном ПЛК.

На входы ПЛК, как и в случае заменяемых им релейно-контактных схем, сигналы могут поступать от конечных выключателей, контролирующих положение подвижных рабочих органов; различного рода оперативных устройств, используемых персоналом; реле давления, контролирующих давление рабочей среды в соответствующих полостях гидро- и пневмосистем; блок-контактов пускателей, коммутирующих силовые цепи питания электродвигателей; внутренних запоминающих элементов и др. Все эти источники входных сигналов ПЛК являются электрическими контактными или бесконтактными устройствами.

Выходные сигналы от ПЛК поступают на исполнительные элементы объекта управления такие, как усилители мощности, управляемые коммутирующие ключи, электромагнитные реле, контакторы и пускатели, электроуправляемые пневмо- и гидрозолотники, тормозные и зажимные механизмы, муфты, а также на различные устройства индикации и светосигнализации типа светодиодов, сигнальных лампочек, светофоров, транспарантов, табло и др.

Устройство занесения программы в ПЛК для управления конкретным объектом не обязательно должно быть конструктивно неотъемлемой частью данного ПЛК. Оно может быть также переносным или возимым и подсоединяться к ПЛК только на время занесения в него программы управления.

Для индикации текущего хода процесса управления в случае использования ПЛК может быть спроектировано специальное табло, соединяемое с этим ПЛК, но может использоваться и универсальный монитор, входящий в состав комплектующего ПЛК.

Комплекты устройств связи с объектом (входных и выходных устройств ПЛК) komponуются по агрегатно-модульному принципу. Они состоят из нескольких блоков, каждый из которых представляет собой ряд зажимов для подводов входных и выходных сигналов.

Чтобы заказать тот или иной ПЛК, нужно предварительно проанализировать объект управления и определить суммарное число входов и выходов. В зависимости от этого числа различают малые ПЛК, у которых это число лежит в пределах от 16 до 64, средние ПЛК — от 128 до 512 и большие ПЛК — от 1 024 до 2 048 и более.

Самым широко применяемым типоразмером ПЛК является средний ПЛК, используемый на агрегатных станках и наиболее распространенных автоматических линиях. Малые ПЛК обычно применяются для управления простыми промышленными роботами, а также работают в составе систем числового программного управления станками типа «обрабатывающий центр», где они уп-

рывают циклами автоматического поиска и смены режущего инструмента. Использование больших ПЛК обычно лимитируется принятой организацией производственного процесса.

Процедура «привязки» к конкретному объекту полученного в виде комплектующего изделия ПЛК сводится к следующему:

- по конструктивным соображениям производят распределение источников и адресатов по входным и выходным модулям ПЛК и им присваиваются внутрисистемные номера, под которыми они будут фигурировать в булевых или графических соотношениях, связывающих входы и выходы данного ПЛК;

- составляют написанные на входном языке данного ПЛК программы, определяющие требуемые причинно-следственные зависимости между выходами и входами данного ПЛК;

- производят установку ПЛК на объекте управления, включая трассирование его входных и выходных кабельных соединений;

- заносят в память ПЛК его рабочую программу;

- запускают занесенную в память ПЛК рабочую программу в стартстопном режиме, просматривая и проверяя реакцию ПЛК на совершение объектом управления тех или иных операций автоматического рабочего цикла;

- после редактирования и отладки рабочей программы ПЛК ее запускают в автоматическом цикле.

Аргументы булевых соотношений, соответствующие входам ПЛК, однозначно определяют сигналы, поступающие с объекта управления.

Обозначим их X_K , где K — внутрисистемный номер данного аргумента.

Функции, получаемые в результате применения булевых соотношений к этим аргументам, соответствуют выходам ПЛК, т.е. сигналам, передающимся для исполнения на объект управления, и обозначаются Y_S , где S — внутрисистемный номер данного выходного сигнала.

Сигнал на выход ПЛК поступает не от объекта, а порождается самим ПЛК. Этот сигнал существует, пока рабочей программой ПЛК не будет выработан другой сигнал, который вызовет его снятие. Поэтому все сигналы на выходе ПЛК следует считать потенциальными и не нужно оговаривать это специально, хотя сигналы на входах ПЛК могут быть как потенциальными, так и импульсными.

Следует заметить, что современные ПЛК помимо логических функций, минимально необходимых для управления автоматическими циклами, в ряде случаев выполняют функции, позволяющие осуществлять также и арифметические операции, и обработку текстов. Они бывают снабжены устройствами внешней памяти и различными устройствами печати, позволяющими документировать ход производства.

4.7. Локальные вычислительные сети в системах автоматизации

Для управления сложными объектами ПЛК обычно объединяют с помощью универсальных локальных вычислительных сетей (ЛВС). ЛВС — это высоконадежная и высокоскоростная система передачи данных, которая обеспечивает взаимосвязь различных устройств обработки информации и управления равноправным или подчиненным способом, либо комбинацией обоих способов в пределах определенной ограниченной площади. Целью объединения ПЛК в такие сети является размещение ПЛК непосредственно в зоне управляемого объекта, а также разделение выполняемых им функций на ряд слабо связанных между собой функций и их распределение между несколькими устройствами. Это позволяет осуществлять так называемое динамическое делегирование функций во время эксплуатации всей системы автоматизации. В результате повышается пропускная способность и живучесть системы управления, увеличивается ее гибкость, а также возникает возможность на этапе эксплуатации системы по мере необходимости наращивать управляюще-вычислительные мощности и возлагать на систему управления дополнительные функции.

Конструктивно локальные вычислительные сети представляют собой каналы различной конфигурации с ветвями и узлами. Узлами таких сетей могут быть и ПЛК, а также и другие устройства обработки информации, применяющиеся для целей автоматизации. Такими устройствами могут быть, например, персональные компьютеры, устройства ЧПУ, микропроцессорные комплекты. ЛВС создает возможность объединения в единую систему автоматизации таких достаточно разнородных компонентов.

ЛВС характеризуется следующими характеристиками:

- базовые средства, используемые для реализации передачи информации;
- структура;
- методы передачи информации;
- методы адресации и выборки информационных сигналов.

Базовые средства представляют собой физическую реализацию канала передачи информации, осуществляющего взаимосвязь узлов сети. Эти средства подразделяют на ограниченные, к которым относятся витая пара проводов (бифилярная обмотка), коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель, и на неограниченные, к которым относятся радио- и микроволновые каналы, а также каналы для передачи инфракрасных и других подобных сигналов.

Наиболее эффективным базовым средством на данном этапе считается коаксиальный кабель, а применение средств волоконной оптики в локальных сетях систем обработки производствен-

ной информации в машиностроении, несмотря на присущую им нечувствительность к электромагнитным помехам, затруднено, прежде всего, в силу отсутствия достаточно разработанных и надежных разъемов и разветвителей.

В настоящее время применяются следующие виды *структуры* ЛВС: звезда, кольцевая и магистральная (рис. 4.9).

Структура типа звезды (рис. 4.9, а) характеризуется централизованной схемой передачи информации. Суммарная длина соединительных кабелей здесь наибольшая по сравнению с другими видами структур, а отказ центрального процессора выводит из работы всю локальную сеть.

Кольцевая структура (рис. 4.9, б) также приводит к значительному расходу соединительного кабеля. Отказ центрального процессора здесь также может вывести из работы всю сеть, но можно предусмотреть обходные цепи.

Магистральная структура (рис. 4.9, в) характеризуется известной степенью усложнения передачи информации. Она требует наличия устройств, идентифицирующих сообщения и управляющих их приемом и передачей. Но при такой структуре затраты соединительного кабеля оказываются наименьшими и она пригодна для расширения. Выход из строя какого-либо узла не приводит при магистральной структуре связей к потере работоспособности всей системы.

На практике возможны также и различные комбинации описанных структур. Например, в многоуровневых системах управления локальные устройства управления группами станков циклового действия обычно подключаются к устройствам, являющимся концентраторами данных, по схеме звезды, тогда как сами эти концентраторы данных и локальные устройства управления транспортными устройствами подключаются к центральному процессору по магистральной схеме.

Что касается *метода передачи информационных сигналов*, то в ЛВС в основном используются два метода передачи этих сигналов, называемые *базовым* и *многополосным*. При использовании

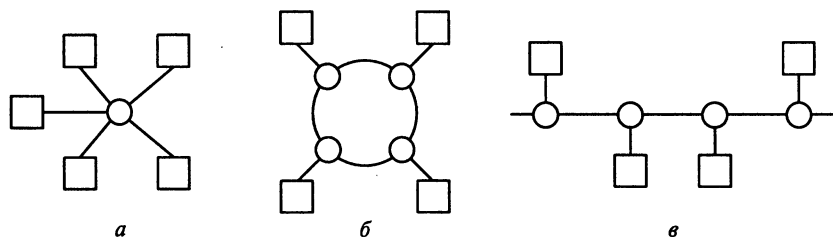


Рис. 4.9. Схемы структур ЛВС:

а — структура типа звезды; б — кольцевая структура; в — магистральная структура

базового метода информационные сигналы остаются в первоначальном виде и одному каналу соответствует одна жила кабеля. При многополосном методе передачи один физический канал используется для передачи нескольких независимых частотных каналов, работающих каждый на своей частоте.

Адресация и выборка сигналов в большинстве случаев осуществляется одним из двух методов: с использованием опознавательных меток и параллельным доступом к различным несущим частотам и с использованием совпадений. В соответствии с первым из двух названных способов адресуемый пакет информации, который может содержать несколько байтов, должен также обязательно иметь определенный кодовый набор (метку), вместе с которым он перемещается от узла к узлу. Наличие такой же метки в том или ином узле предоставляет именно ему доступ к информации, содержащейся в данном пакете. Сущность второго метода ясна из его названия.

Компоновка систем автоматизации из разнородных устройств приводит к необходимости стандартизации связей между этими устройствами. Характерным представителем стандартов, регламентирующих обмен информацией между устройствами, объединенными в ЛВС, является разработанный международной организацией по стандартизации ISO стандарт ISO—OSI.

В соответствии с этим стандартом процедура обмена информационными данными стандартизуется по семи уровням. Эти уровни стандартизации, начиная с самого низкого, таковы:

1) физический уровень, определяющий электрические, механические и функциональные характеристики схем обмена информацией;

2) уровень канала передачи данных, на котором устанавливается, поддерживается и блокируется канал передачи информации и контрольных сигналов;

3) уровень коммуникации, на котором назначается тактность, осуществляется переключение, сегментация, блокирование и контроль передаваемых массивов, а также восстановление ошибочно переданных сигналов;

4) уровень передачи, на котором осуществляется передача данных, непрерывный контроль и мультиплексирование;

5) уровень сеансов связи, на котором осуществляется диспетчеризация и контроль сеансов обмена информацией между двумя объектами;

6) уровень воспроизведения, на котором происходит интерпретация данных, преобразование форматов и кодов;

7) уровень применения, на котором осуществляется использование принятых данных.

Практически в настоящее время существуют и могут быть приобретены и использованы при решении конкретных задач автома-

тизации типовые сетевые средства, способные объединять в единую систему такие разнородные устройства, как, например, ПЛК различных типоразмеров, устройства ЧПУ, разнообразные табло, пульта управления, локальные специализированные управляющие устройства и т. д.

4.8. Автоматизация станочных комплексов

Системы управления станочными комплексами представляют собой, как правило, центральный компьютер или компьютерную сеть, которые через мультиплексорное устройство либо в режиме разделения времени одновременно управляют несколькими станками, в том числе и несколькими станками с ЧПУ.

Для того чтобы отдельные станки с ЧПУ конструктивно и с точки зрения осуществляемого ими производственного процесса были пригодны к объединению в единый станочный комплекс, нужно, чтобы на них по соответствующим командам от системы управления осуществлялась автоматическая смена заготовок, а также поиск в инструментальном магазине и автоматическая смена режущего инструмента.

В таких станках литые корпусные заготовки, не пригодные для самостоятельной установки на рабочем столе станка обычно предварительно закрепляются на установочных приспособлениях — спутниках, называемых также *палетами*. Заготовки деталей типа тел вращения обычно упорядоченно устанавливаются в специальных приспособлениях, которые в этом случае называются *кассетами*, откуда эти заготовки устанавливаются в шпиндель станка. Обычно это может делаться промышленным роботом. Палеты с закрепленными на них заготовками или кассеты, содержащие заготовки деталей типа тел вращения, доставляются и устанавливаются у станков на позициях *локальных накопителей*. Инструмент обычно предварительно собирается в инструментальные комплекты, которые затем доводятся и юстируются в специальном инструментальном отделении, снабженном соответствующими заточными станками и контрольно-измерительными приборами и стендами. Примером таких инструментальных комплектов может служить борштанга с коническим хвостовиком, на которой с нужным вылетом закрепляются и затачиваются расточные резцы. Другим примером инструментальных комплектов может служить наладка для многоинструментной токарной обработки, представляющая собой державку с жестко закрепленными в ней резцами. Профиль заточки и величина вылета резцов, установленных в борштанге или в державке, могут контролироваться с помощью имеющихся в инструментальном отделении контрольно-измерительных приборов, например инструментального микроскопа и опти-

ческого проектора. После сборки и юстировки подобных инструментальных комплектов они, обычно вручную, устанавливаются в гнезда (рабочие позиции) инструментального магазина.

В процессе эксплуатации система управления данным станочным комплексом должна генерировать и выдавать специальные командные сигналы на смену заготовки и инструментального комплекта.

Конструкции и типоразмеры локальных накопителей могут быть самыми разнообразными. Самыми распространенными из них являются следующие:

- кольцевой замкнутый поворотный накопитель с возможностью подачи палет или кассет в любой последовательности;
- овальный замкнутый поворотный накопитель, также обладающий возможностью подачи палет или кассет в любой последовательности, но установленный между двумя станками и обслуживающий оба станка;
- прямоугольный накопитель, допускающий возможность подачи палет или кассет лишь в определенной последовательности, но допускающий обслуживание двух станков;
- линейный накопитель, являющийся разновидностью прямоугольного, имеющий отдельные ветви для установки палет или кассет на станок и для снятия палет или кассет со станка;
- локальный неподвижный накопитель обычно полукольцевой конструкции, связанный со станком промышленным роботом и допускающий возможность подачи палет или кассет в любой последовательности;
- ряд или два ряда неподвижных накопительных позиций, расположенных вдоль станков данного комплекса, причем обмен палетами или кассетами со станками данного станочного комплекса в любой последовательности производится промышленным роботом, установленным на перемещающейся, обычно по рельсам, от станка к станку данного комплекса подвижной каретке.

Инструментальные магазины, предназначенные для установки и оперативной замены инструментальных комплектов, также бывают самых различных конструкций и типоразмеров. Самыми распространенными из них являются следующие:

- два поворотных инструментальных магазина, встроенные в станок, каждый из которых обеспечивает смену инструмента для обработки своей детали;
- два поворотных инструментальных магазина, встроенные в станок таким образом, что во время обработки одной детали один из них поворачивается и обеспечивает смену инструмента для обработки этой детали, а второй остается неподвижным и может пополняться инструментальными комплектами, ориентированными на обработку следующей детали;

- дополнительные инструментальные магазины большой вместимости, установленные вне станка;
- сменные инструментальные магазины, доставляемые к данному станку;
- автоматически заменяемые инструментальные магазины;
- автоматически заменяемые пары инструментальных магазинов.

Мониторинг станочного комплекса. В системах управления станочными комплексами задача центрального компьютера или центральной компьютерной сети главным образом сводится, во-первых, к наблюдению за работой каждого станка, входящего в состав комплекса, и за всем комплексом в целом, т. е. к осуществлению мониторинга этого комплекса, а во-вторых, к снабжению каждого станка, входящего в состав комплекса, и всего комплекса в целом всей необходимой информацией.

Мониторинг выполнения станками, инструментами и транспортирующими устройствами станочного комплекса возложенных на них функций осуществляется специальной программно-аппаратной системой. Эта система мониторинга, называемая иногда также автоматизированной системой управления эксплуатацией, может быть реализована различными средствами, в том числе с использованием ПЛК или универсальных компьютеров, или же компьютерных сетей.

Структура функций системы мониторинга комплекса станков приведена на рис. 4.10.

Система мониторинга должна обеспечивать поддержание работоспособности станочного комплекса в течение всего срока его эксплуатации. Это означает предотвращать или сводить к минимуму простои единиц технологического оборудования, входящего в данный станочный комплекс.

Для этого необходимо:

- устранять отказы технологического оборудования своевременной заменой или восстановлением его отдельных элементов;
- своевременно выявлять и предупреждать неисправности, повышать долговечность оборудования путем уменьшения интенсивности его износа и проведения диагностических проверок;
- следить за снабжением станочного комплекса удовлетворяющими техническим требованиям заготовками, оснасткой, маслами, смазывающе-охлаждающими жидкостями и т. д.

Для достижения указанных целей система мониторинга выполняет следующие работы:

- осуществляет количественный учет движения единиц продукции по технологическим и транспортным операциям, по складам и постам ОТК;
- производит выдачу необходимой информации по рабочим местам в целях проверки соответствия фактического и запланированного хода производства;

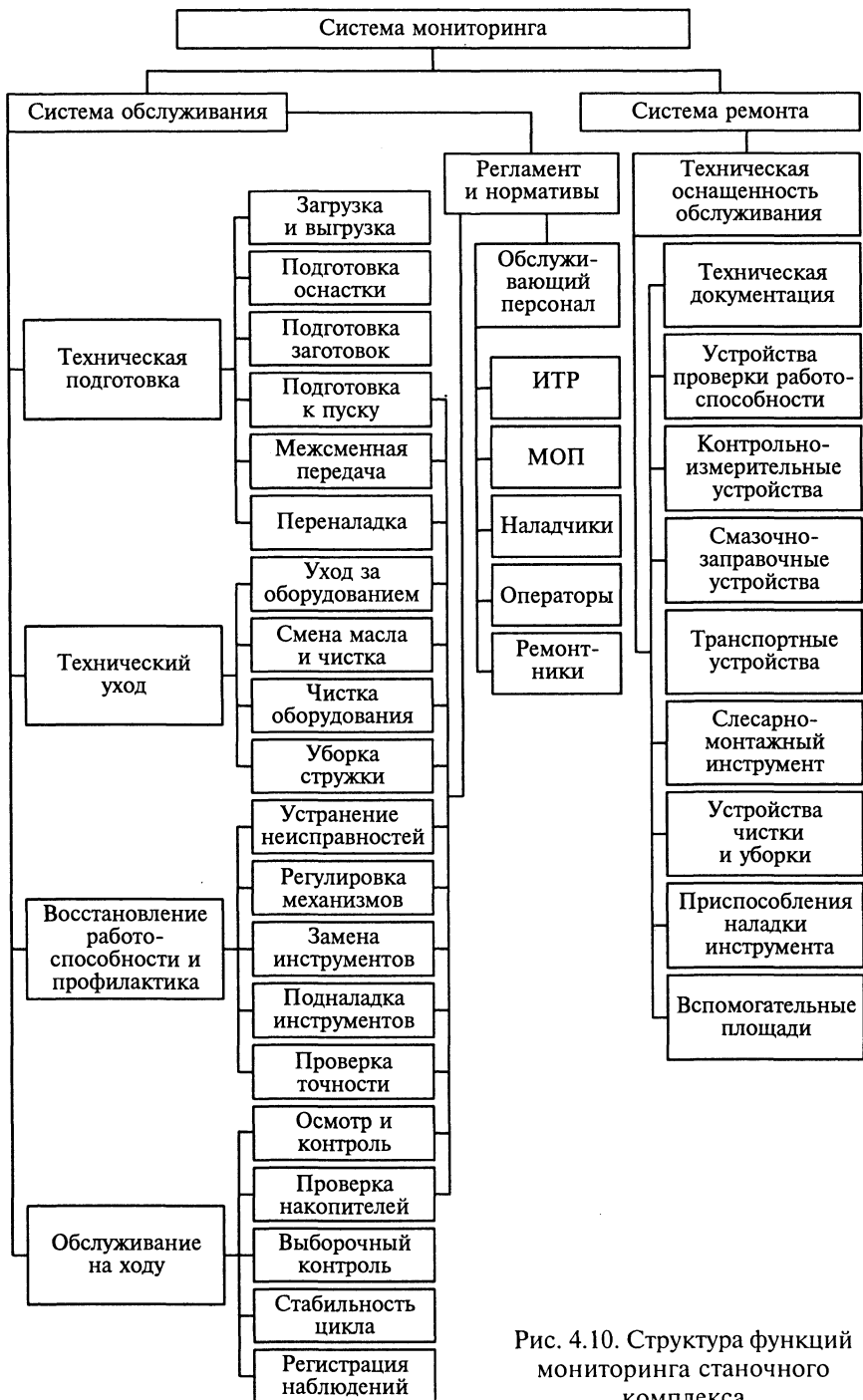


Рис. 4.10. Структура функций мониторинга станочного комплекса

- определяет необходимость переналадок или подналадок в связи с окончанием обработки партии деталей или в связи с аварийным отставанием фактического выпуска деталей от запланированного;

- определяет очередность запуска в обработку партий деталей и размер запускаемых в обработку партий деталей очередного наименования;

- определяет приоритеты в снабжении и обслуживании рабочих мест;

- определяет необходимость и моменты начала регламентных работ по контролю оборудования и смене инструмента;

- определяет необходимость привлечения руководителей и других лиц, принимающих решения (ЛПР), для использования имеющихся резервов;

- осуществляет вызов персонала служб обслуживания на соответствующие рабочие места, а также оперативную связь с ними и руководство ими;

- осуществляет передачу и регистрацию запросов и распоряжений;

- осуществляет проверку уровней запасов на складах;

- осуществляет оперативную связь с обслуживающим персоналом и персоналом складов.

Условия ведения производства на комплексе автоматического оборудования, а также характеристики окружающей среды имеют вероятностный характер.

Источниками информации о фактическом текущем состоянии технологического оборудования и окружающей производственной среды являются датчики, установленные на этом оборудовании, а также датчики состояния окружающей производственной среды.

Всю информацию, вырабатываемую системой мониторинга, можно подразделить на три группы:

- 1) периодическая информация, выдаваемая на печать или визуализируемая каким-либо другим способом в заранее установленные периоды времени, например в конце каждой смены. Такого рода информация составляется на основании показаний различного рода датчиков, а также на основании данных по отчетам службы механика, электрика, бюро инструментального хозяйства, поступивших в систему мониторинга от устройств ручного ввода;

- 2) оперативная информация, например сигнализация о факте возникновения аварии и месте ее возникновения, выдаваемая на печать или визуализируемая каким-либо другим способом по мере появления новой срочной информации такого рода, а не в заранее установленные моменты времени;

- 3) информация, выдаваемая по требованию, а не в заранее установленные моменты времени и независимо от факта появле-

ния какой-либо новой срочной информации. Примером такого рода информации может служить запрашиваемая с соблюдением всех установленных паролей справка о браке или числе произведенных годных деталей данного наименования.

В результате работы системы мониторинга вырабатывается следующая информация:

- сведения по производительности всего станочного комплекса и каждого станка, входящего в него;
- сведения о величине заделов, находящихся на локальных накопителях и транспортных устройствах;
- сведения о наличных и используемых фондах времени для каждого станка и всего станочного комплекса в целом;
- сведения о простоях каждого станка и всего станочного комплекса в целом;
- сведения о продолжительности циклов работы станочного оборудования и элементов этих циклов;
- сведения о продолжительности циклов обслуживания станочного оборудования и элементов этих циклов;
- сведения о времени, затраченном на наладку;
- сведения об объеме годной продукции с распределением ее по группам качества и брака с распределением его по группам дефектов;
- сведения по диагностике отказов станочного оборудования с группированием по месту этих отказов и причинам их возникновения;
- сведения по учету заготовок и их качеству.

Управляющие программы. Кроме мониторинга работы оборудования станочного комплекса центральный компьютер или компьютерная сеть, как уже говорилось, выполняют снабжение единиц оборудования данного комплекса необходимой информацией. Для станков с ЧПУ прежде всего необходимо своевременно предоставлять тексты нужных управляющих программ. Поэтому создание и ведение *библиотек управляющих программ*, а также поиск и выдача на различные устройства требуемых управляющих программ являются одними из важнейших функций, реализуемых при компьютерном управлении станочных комплексов.

Библиотека управляющих программ для станков с ЧПУ содержит тексты этих программ либо в виде, пригодном для непосредственной отработки станками комплекса, либо в перекодированном по определенным правилам виде. Эта перекодировка производится либо с целью сжатия хранимой информации, либо с целью повышения надежности ее записи и хранения. Кроме массива текстов управляющих программ для станков с ЧПУ в подобной библиотеке должен создаваться и вестись массив каталогов этой библиотеки. Такой каталог содержит имена хранимых управляющих программ, обычно совпадающие с шифрами деталей и выполня-

емых над ними на данном станочном комплексе операций, сведения об их размещении, а также коды станков, для которых эти управляющие программы предназначаются. Кроме этого в подобном каталоге могут содержаться словесные комментарии, необходимые персоналу.

Библиотека управляющих программ строится по иерархическому принципу с несколькими уровнями доступа. Обычно таких уровней доступа четыре. Первым, самым низким уровнем доступа является размещение нескольких управляющих программ непосредственно в памяти устройств ЧПУ, что соответствует открытому доступу в обычной общедоступной библиотеке газет, журналов и книг. Вторым, более высоким уровнем доступа является размещение управляющих программ в памяти компьютера или компьютерной сети, управляющими данным станочным комплексом и связанными со станками этого комплекса, откуда нужную управляющую программу можно затребовать, а через некоторое время она поступит на затребовавшее ее устройство ЧПУ. Это соответствует подсобному фонду в обычной общедоступной библиотеке.

Следующим, еще более высоким уровнем доступа является размещение управляющих программ в памяти общезаводских компьютера или компьютерной сети, откуда нужная управляющая программа в соответствии с производственным планом поступает в компьютер или в компьютерную сеть данного станочного комплекса. Это соответствует заказу в фонде долговременного хранения обычной общедоступной библиотеки. Наконец, тексты управляющих программ для деталей, могущих обрабатываться на данном станочном комплексе, но не включенных в текущий производственный план, хранятся отдельно на неразрушаемых носителях.

В случае необходимости они могут быть занесены в компьютер или компьютерную сеть данного станочного комплекса. Этот уровень соответствует фонду основного хранения в обычной общедоступной библиотеке.

Таким образом, при формировании и ведении библиотеки управляющих программ для станков с ЧПУ необходимо выполнять следующие функции:

- осуществлять ввод текстов управляющих программ через различные терминальные устройства и размещать их по заданным адресам в виде соответствующих файлов, формируя и размещая при этом дополнительную информацию;
- осуществлять поиск файлов, содержащих затребованные управляющие программы;
- осуществлять визуализацию в установленной форме запрошенной информации, относящейся к текстам управляющих программ или к их наличию и размещению;

• осуществлять редактирование как текстов управляющих программ, так и каталога библиотеки, вплоть до их составления заново на «пустом» месте.

При осуществлении доставки управляющих программ и необходимой дополнительной информации к устройствам управления, являющимися их и ее потребителями, решаются две принципиально разных задачи. Первая задача заключается в принятии решения о необходимости и своевременности передачи его соответствующим потребителям. Это задача диспетчеризации, которая имеет свое решение. Здесь возможны два режима, «толкающий», когда источником запроса на передачу информации является само устройство-адресат, и «тянувший», когда источником запроса на передачу информации является содержащие эту информацию компьютер или компьютерная сеть. Вторая задача заключается в автоматизации процедуры фактической передачи соответствующего массива информации после того, как решение о ее передаче уже принято.

Передача массива данных из центрального компьютера или компьютерной сети в потребляющее устройство — это многофазная процедура. Для этой процедуры устанавливаются следующие фазы:

- передача на компьютер или на компьютерную сеть кода команды, которая устанавливает режим работы самой системы;
- передача дополнительной информации, которая устанавливает режим работы сопряжения с данным абонентом;
- передача самого информационного массива.

Примером информации, передаваемой на первой стадии процедуры обмена, могут служить сложные команды типа «поиск в библиотеке», «запись в библиотеку», «вывод на записывающее устройство», «ввод управляющей программы», «индикация управляющей программы» и др.

Примером информации, передаваемой на второй стадии процедуры обмена, может служить дополнительная информация типа номеров текущей и последующей партий, детали, программноносителя, на который производится запись, фактического числа годных и бракованных деталей, код сменяемого инструмента, объем запланированного выпуска и др.

Руководящий технический материал. Общий случай многофазного обмена информацией в станочных комплексах регламентируется разработанным в свое время руководящим техническим материалом (РТМ), который действует до настоящего времени. Этот РТМ ориентирован на международные стандарты и использует трехбуквенную английскую мнемонику. Согласно этому РТМ любой потребитель информации в любой момент времени может инициировать установление с ним связи в целях передачи информации. Но фактическая передача информации с использованием установленной связи будет происходить только, если от вызывае-

мого устройства будет получено подтверждение его готовности к приему.

Согласно этому РТМ, фраза языка, на котором происходит обмен, регламентирована и имеет вид, показанный на рис. 4.11.

В предлагаемом данным РТМ языке обмена сообщениями предусмотрены следующие типы передачи:

A — сигнал приемнику о прерванной передаче и отмене ранее переданной информации;

C — сигнал приемнику о том, что передаваемое сообщение является командой;

D — сигнал приемнику о том, что передаваемое сообщение является данными;

N — отрицательный ответ;

U — запрос на передачу незапланированных данных.

Предусмотрены также следующие подтипы передач:

NAM — имя;

STA — состояние;

MSG — сообщение;

EXE — команда «выполнить»;

ISO — управляющая программа для станков с ЧПУ;

BIN — блок программного обеспечения;

RET — управляющая программа для робота;

TST — тестовое обеспечение;

INS — результаты измерений;

BCL — плановое задание;

KNL — карта наладки.

Предусматриваются также следующие расширения команд.

Для подтипа передач STA:

ALL — полное описание состояния;

FRO — корректировка значения подачи;

PRG — закончена или нет отработка управляющей программы;

SSO — корректировка частоты вращения шпинделя;

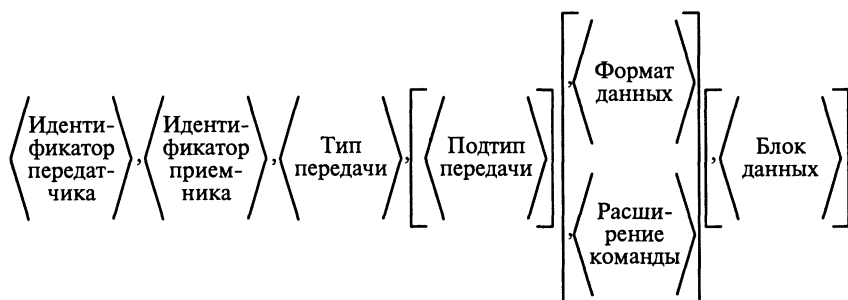


Рис. 4.11. Структура фразы обмена с устройствами управления

ENC — передача кодированного блока данных.

Для подтипа передач EXE:

AXO — начальное смещение осей;

CYC, n — работа в автоматическом цикле; n = 0 — начать, n = 1 — прекратить;

BLK, n — работа в режиме покадровой отработки; n = 1 — начать, n = 0 — прекратить;

ССР, n, R = ... или D = ... — компенсация радиуса или диаметра инструмента; n — номер позиции в магазине;

EXC — перегрузить палеты;

FRO — коррекция подачи;

SSO — коррекция частоты вращения шпинделя;

TLД, T, ..., L, ..., R, ..., F, ..., S, ..., A — данные об инструменте, а именно, идентификатор инструмента, его длина, радиус, коррекция подач и частоты вращения шпинделя, стойкость;

TOF, T — коррекция на инструмент, заданный идентификатором.

При отрицательных ответах поле расширения команд используется для указания причин этого. В качестве причин отрицательного ответа предусмотрены следующие:

CNE — команда невыполнима;

DNE — данные недостаточны;

DNA — данные не готовы;

FNU — функция не используется;

SNA — состояние не известно;

SNR — система не готова;

FNF — файл не найден.

Проставив требуемые коды из приведенного перечня в структуру фразы, изображенную на рис. 4.11, получим конкретное значение передаваемого сообщения.

Контрольные вопросы

1. На какие категории подразделяют все станки с точки зрения их эксплуатационных возможностей?
2. Как классифицируются все детали, изготавливаемые на металлорежущих станках?
3. Какие цели преследуют автоматизация отдельного станка и автоматизация комплексов станков?
4. Что характерно для ручного, а что для автоматического управления станками?
5. Какие в настоящее время различают основные типы автоматического управления в машиностроении?
6. В чем заключаются методы прямого и непрямого копирования применительно к металлорежущим станкам?
7. Каковы основные недостатки методов копирования?

8. Какого рода информацию необходимо сообщать устройству ЧПУ станка?

9. Что такое задача интерполяции для систем ЧПУ?

10. Как осуществляются линейная и круговая (дуговая) интерполяции по методу оценочной функции?

11. Какие рабочие режимы характерны для современных систем ЧПУ?

12. Назовите типовые конструктивные элементы применительно к токарной обработке деталей типа тел вращения и применительно к фрезерной обработке.

13. Что такое агрегатные станки?

14. Каковы основные недостатки релейно-контактных схем, реализующих управление автоматическими циклами?

15. Какая архитектура характерна для программируемого логического контроллера?

16. Назовите источники входных сигналов и адресаты выходных сигналов для программируемого логического контроллера.

17. Чем разрядная сетка программируемого логического контроллера отличается от разрядной сетки универсального персонального компьютера?

18. Чем система команд программируемого логического контроллера отличается от системы команд универсального персонального компьютера?

19. В чем заключается процедура «привязки» программируемого логического контроллера к тому или иному конкретному производственному объекту?

20. Что такое локальные вычислительные сети?

21. Перечислите базовые средства локальных вычислительных сетей, используемые для реализации передачи информации.

22. Что называют структурой локальных вычислительных сетей?

23. Какие существуют методы передачи информации в локальных вычислительных сетях?

24. Что называют методами адресации и выборки информационных сигналов в локальных вычислительных сетях?

25. На какие разновидности подразделяются структуры локальных вычислительных сетей?

26. Что такое стандарт ISO—OSI?

27. Каковы функции мониторинга на современных станочных комплексах?

28. Какая по содержанию информация вырабатывается в результате работы системы мониторинга?

29. Дайте определение «толкающему» и «тянущему» режимам в задаче диспетчеризации производственного процесса.

30. Какой вид должна иметь фраза языка, на котором происходит обмен информацией с центральным компьютером?

ГИБКИЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

5.1. Основные понятия и классификация автоматических линий в машиностроении

Автоматические линии являются традиционным и наиболее часто применяемым средством автоматизации производственных процессов в машиностроении, характеризующихся большим (крупносерийным или массовым) масштабом выпуска. Они представляют собой цепочку автоматического оборудования — станков, установленных согласно технологическому процессу и соединенных между собой транспортирующими устройствами либо непосредственно, либо через разнообразные промежуточные компоненты. Сюда же следует отнести и агрегатные станки, которые komponуются из самостоятельных унифицированных и специальных узлов и деталей путем объединения их в единый агрегат, представляющий собой единый производственный комплекс. Для агрегатных станков характерны единые для каждого станка системы загрузки, выгрузки, управления и контроля. Агрегатный станок можно рассматривать как автоматическую линию, выполненную на одной станине.

По технологическому признаку различают линии механической обработки, сборки, сварки, окраски, выполнения заготовительных операций, автоматического контроля и испытаний, термообработки и др.

Если линия включает рабочие позиции, подразумевающие необходимость участия человека в выполнении тех или иных операций обработки, то она называется не автоматической, а *автоматизированной*.

По-разному строятся и управляются собственно автоматические и роторные линии.

На автоматической линии процессы обработки и транспортировки деталей чередуются и осуществляются прерывно, т. е. заготовка перемещается между рабочими позициями, затем закрепляется на рабочих позициях, где и производится выполнение соответствующей операции.

В случае роторной линии обработка совмещена с процессом перемещения заготовки. Роторные линии komponуются из

загрузочных, транспортных и рабочих (технологических) роторов. Рабочий ротор представляет собой непрерывно вращающийся стол, по периферии которого устанавливаются детали. Над столом устанавливаются соответствующие инструментальные блоки, которые вращаются синхронно с вращением рабочего стола. Эти инструментальные блоки осуществляют рабочие движения под воздействием копира.

Роторные и роторно-конвейерные линии обеспечивают высокую производительность, но обычно предназначаются для выполнения лишь простейших операций, не требующих высокой точности, таких как прошивка, резка, дозировка и др. Такие линии нашли свое применение главным образом в пищевой, и электротехнической промышленности, а также в производстве боеприпасов для обработки простых деталей без снятия стружки методами штамповки, выдавливания, пайки, дозировки и др.

В традиционных автоматических линиях металлорежущих станков и в роторных или роторно-конвейерных линиях независимо от того, осуществляется ли там прерывная или непрерывная обработка деталей, задачи систем приема, обработки и использования информации сводятся в основном к задачам управления автоматическим циклом и задачам мониторинга.

Виды обработки деталей. В зависимости от вида заготовки на технологическом оборудовании автоматической линии осуществляется либо беспутниковая обработка детали, либо ее обработка в приспособлениях-спутниках. В обоих этих случаях транспортирующие устройства выносятся за пределы рабочих зон станков.

Беспутниковая обработка применяется тогда, когда транспортировка, ориентация и закрепление деталей на рабочих позициях не вызывают затруднений. К деталям, пригодным для беспутниковой обработки, относятся различного рода валы и диски. Для автоматизации транспортировки и обработки деталей сложной или неудобной конфигурации, главным образом литых, применяются спутниковые линии. На таких линиях детали устанавливаются в специальные приспособления — *спутники*. Спутник перемещается вместе с заготовкой по всем позициям обработки, вплоть до последней, а сама заготовка остается жестко закрепленной в спутнике.

На рис. 5.1 изображена принципиальная схема компоновки традиционной автоматической линии с прохождением заготовки и полуфабриката в процессе механической обработки через рабочие зоны станков.

На этом рисунке цифрой 1 обозначен сквозной конвейер для межстаночной транспортировки, а также для транспортировки на входе и на выходе. Цифрами 2 обозначены станки, образующие данную автоматическую линию.

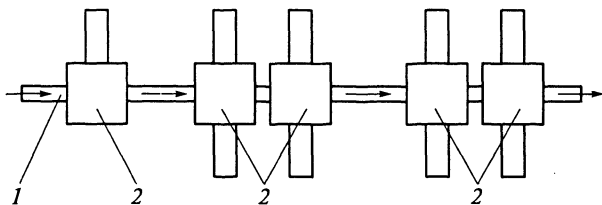


Рис. 5.1. Структурная схема автоматической линии с прохождением детали через рабочие зоны:

1 — межстаночный конвейер; 2 — станки

На рис. 5.2 изображена компоновка автоматической линии с неоднократным прохождением детали через рабочие зоны станков благодаря возврату полуфабриката детали вместе с приспособлением-спутником к началу автоматической линии.

На этом рисунке цифрой 1 обозначены станки, входящие в линию, цифрой 5 — конвейер межстаночной транспортировки, а цифрой 4 — конвейер возврата приспособления-спутника с полуфабрикатом детали к началу автоматической линии. Входом автоматической линии является позиция загрузки 2, а выходом — позиция выгрузки 3. Стрелкой показано направление движения полуфабриката детали вместе с приспособлением-спутником.

Классификация автоматических линий. Автоматические линии, у которых детали с выхода предыдущей рабочей позиции непосредственно, т. е. без каких бы то ни было промежуточных накопительных устройств, поступают на входы последующей рабочей позиции, называются автоматическими линиями с *жесткой связью*.

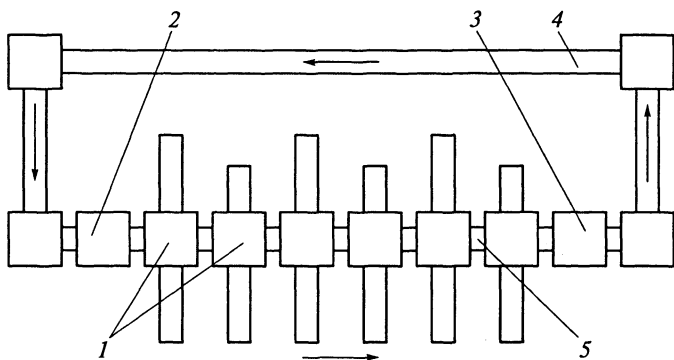


Рис. 5.2. Структурная схема автоматической линии с возвратом детали к началу обработки:

1 — станок; 2 — позиция загрузки; 3 — позиция выгрузки; 4 — конвейер возврата; 5 — конвейер межстаночной транспортировки

Автоматические линии, у которых детали с выхода предыдущей рабочей позиции поступают на входы последующей рабочей позиции через некоторые промежуточные устройства типа бункеров и накопителей, называются автоматическими линиями с *гибкой связью*.

Автоматическая линия komponуется под определенный вид транспорта и связывается с ним устройствами загрузки (промышленными роботами, лотками, склизами, подъемниками и др.). В состав автоматической линии наряду с рабочими должны также входить и холостые позиции, которые используются для осмотра и обслуживания.

Автоматические линии могут быть предназначены для обработки детали одного наименования. Такие автоматические линии называются *непереналаживаемыми*. Характерным примером являются традиционные непереналаживаемые автоматические линии, например, в автомобильной, подшипниковой, инструментальной и электротехнической промышленности

Автоматические линии могут быть предназначены и для обработки деталей нескольких наименований. Такие автоматические линии называются *переналаживаемыми*. Характерным примером практически применяемого автоматического оборудования такого типа являются переналаживаемые автоматические линии в станкостроительной, радиоэлектронной или авиационной промышленности.

Переналадка автоматической линии. Следует иметь в виду, что переналадка автоматической линии на обработку детали другого наименования не сводится только к изменению автоматического цикла работы базового технологического оборудования. Даже в случае использования в качестве такого оборудования станков с ЧПУ переналадка автоматической линии на обработку детали другого наименования не сводится только к замене управляющих программ для этих станков. Необходимо также переналадить, а в случае необходимости, заменить режущие инструменты и оснастку, систему упоров, а также транспортирующие, накопительные, контрольные и ориентирующие устройства. После переналадки автоматическая линия должна быть заново сбалансирована, т.е. нужно добиться, чтобы производительности предыдущих и последующих позиций были равны. Иногда для этого требуется поставить дополнительное технологическое оборудование в параллель к уже действующему.

В связи с этим нужно учитывать, что на любой переналаживаемой автоматической линии независимо от времени и трудоемкости ее переналадки на обработку детали другого наименования можно обрабатывать лишь детали *закрытых технологических семейств*. Детали разных наименований, но относящиеся к одному и тому же закрытому технологическому семейству, характеризу-

ются высокой степенью конструктивного и технологического подбора. Примером могут служить варианты блоков цилиндров автомобильных двигателей на четыре и шесть цилиндров и на различные диаметры расточек под рабочие гильзы, взятые из установленного размерного ряда. Принадлежность деталей разных наименований к одному и тому же закрытому технологическому семейству дает возможность при переналадке использовать автоматическую линию, не меняя базовых станков, а также числа и взаимного расположения рабочих позиций.

Процесс переналадки автоматической линии на обработку детали другого наименования независимо от его длительности и содержания сводится к выполнению следующих процедур:

1) необходимо остановить поток деталей прежнего наименования на входе автоматической линии;

2) необходимо дать потоку деталей прежнего наименования закончить обработку на всех рабочих позициях и сойти с выхода автоматической линии;

3) необходимо переналадить автоматическую линию;

4) необходимо перекомпоновать рабочие бригады, связанные с данной автоматической линией;

5) необходимо снова запустить уже переналаженную автоматическую линию при новом составе рабочих бригад, связанных с ней;

6) необходимо подать на вход автоматической линии поток деталей нового наименования.

Таким образом, переход переналаживаемой автоматической линии на обработку детали какого-либо другого наименования

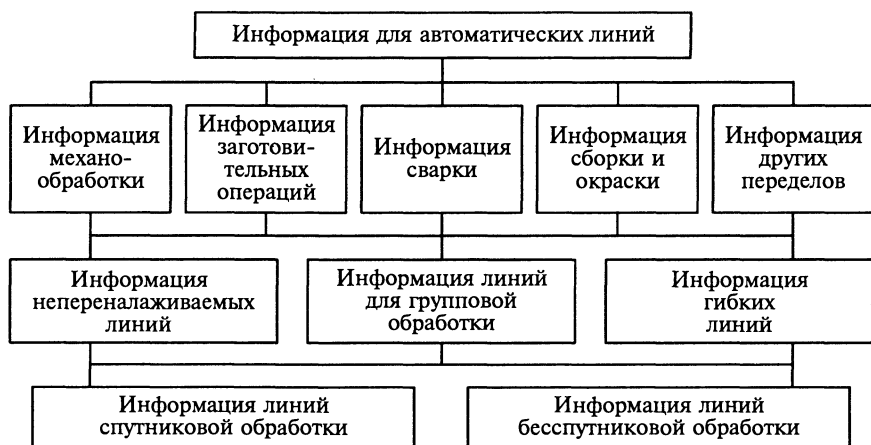


Рис. 5.3. Классификация информации для управления автоматическими линиями

предусматривает полную остановку линии, хотя трудоемкость и длительность производимой переналадки фактически могут быть различными.

Классификация информации, собираемой, обрабатываемой и используемой на автоматических линиях различного типа, приведена на рис. 5.3.

Информация, обрабатываемая и используемая в традиционных автоматических линиях, может поступать от различных датчиков, обрабатываться по своему характерному алгоритму и далее поступать на различные устройства индикации и исполнительные механизмы. Эта информация может собираться с объекта управления и выдаваться на исполнительные механизмы с различной периодичностью и на основании различных условий.

5.2. Загрузочно-разгрузочные устройства автоматических линий в машиностроении

Загрузочно-разгрузочные устройства станков, встраиваемых в автоматические линии, предназначены для автоматической установки заготовок или полуфабрикатов деталей в зажимные приспособления в рабочую зону данного станка или для снятия оттуда этих заготовок или полуфабрикатов.

В конструкциях загрузочно-разгрузочных устройств станков, встраиваемых в автоматические линии, должны, с одной стороны, учитываться особенности автоматизируемого с помощью данного устройства станка, а с другой стороны, особенности конструкции устройств транспортировки, связанных с данным станком. Конструкция этих загрузочно-разгрузочных устройств зависит также от типа и размеров применяемой заготовки, требуемой точности ее обработки, заданной производительности и других факторов. Вместе с тем загрузочно-разгрузочные устройства станков, встраиваемых в автоматические линии, какова бы ни была конструкция этих устройств, должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечение минимума времени выполнения операции по разгрузке и выгрузке детали;
- обеспечение высокой безотказности работы, а также высокой долговечности и ремонтоспособности;
- обеспечение требуемой точности установки в зажимном приспособлении;
- исключение появления на детали в результате загрузки и выгрузки дополнительных дефектов типа забоин, щербин, вмятин, сколов и т.д.

Типовые компоновки систем «станок — загрузочно-разгрузочное устройство». Одна из таких компоновок предусматривает встраи-

вание загрузочно-разгрузочного устройства в станок. При этом осуществляется общий привод механизмов станка и такого загрузочно-разгрузочного устройства. Примером здесь может служить автооператор, осуществляющий загрузку и разгрузку токарного автомата цилиндрическими заготовками из подводящего наклонного лотка. Такая компоновка применима для всех типов станков, когда используются ориентированные штучные заготовки относительно небольшой массы. При этой компоновке достигается простота конструкции загрузочно-разгрузочного устройства и соответствующие этому меньшая металлоемкость и сокращение требуемых производственных площадей. Однако использование такой компоновки ведет к меньшей универсализации конструкции, ограничениям в накоплении заготовок и затруднениям в уборке стружки и защите от смазывающе-охлаждающей жидкости.

Другая из возможных компоновок предусматривает установку загрузочно-разгрузочного устройства рядом со станком, предназначенным для однопроходной обработки. Общий привод механизмов станка и такого загрузочно-разгрузочного устройства при этом не осуществляется. Примером здесь может служить бункерное валковое устройство, осуществляющее загрузку и разгрузку «столба» подшипниковых колец, обрабатываемых на бесцентровом круглошлифовальном автомате для наружного шлифования за один сквозной проход. Загрузочно-разгрузочные устройства такой компоновки могут применяться для всех типов станков, когда используются ориентированные штучные заготовки относительно небольшой или средней массы. В этом случае обеспечивается возможность раздельной наладки как станка, так и подобного устройства, осуществляющего загрузку и разгрузку, а также возможность использования унифицированных узлов и большее удобство уборки стружки и защиты от смазывающе-охлаждающей жидкости. Однако применение такой компоновки ведет к усложнению конструкции и к большей металлоемкости, а также требует больших производственных площадей.

Наконец, третья типовая компоновка предусматривает установку загрузочно-разгрузочного устройства рядом со станком, предназначенным для многопроходной обработки. Загрузочно-разгрузочные устройства при использовании такой компоновки могут применяться для всех типов станков, когда штучные заготовки относительно небольшой или средней массы обрабатываются партиями за несколько проходов без изменения своей ориентации. Общий привод механизмов станка и такого загрузочно-разгрузочного устройства при этом также не осуществляется. Характерная особенность компоновки такого рода загрузочно-разгрузочного устройств по сравнению со второй типовой компоновкой заключается в том, что неотъемлемой частью этих устройств является наличие лотков, возвращающих поток деталей с выхода

станка на его вход, а также необходимых для такого возврата подъемников, большей частью гидравлических. Многопроходная обработка на одном станке ведет к экономии площади по сравнению с использованием в автоматической линии нескольких последовательно установленных однопроходных станков. Однако при этом требуется специальная конструкция как самого загрузочно-разгрузочного устройства, так и устройств для транспортировки, ориентированная на определенный тип заготовки.

Классификация заготовок. С точки зрения автоматизации загрузки на станок все заготовки, поступающие на обработку на данном станке, определенным образом классифицируются.

Заготовки деталей типа тел вращения (в том числе предназначенные как для токарной или шлифовальной обработки, так и для выполнения наряду с токарной или шлифовальной обработкой фрезерных или сверлильных операций) можно подразделить следующим образом:

- симметричные детали, имеющие кроме оси симметрии, совпадающей с осью вращения, также и плоскость симметрии, перпендикулярную этой оси. Примером могут служить простые детали типа сплошного цилиндра, детали с одинаковыми концами, втулки, заготовки блоков шестерен и т. п. Здесь первичная ориентация заготовки заключается в совмещении ее осей вращения и симметрии, а вторичная ориентация не требуется;

- симметричные детали, имеющие только ось симметрии, совпадающую с осью вращения, и не имеющие плоскости симметрии, перпендикулярной к этой оси. Примером могут служить цилиндрические детали с неодинаковыми концами, детали с коническими поверхностями, наружными или внутренними, детали с резьбовым концом, детали с глухими отверстиями, направленными вдоль оси вращения, и т. п. Здесь первоначальная ориентация заключается в совмещении осей вращения и симметрии, а вторичная ориентация, в случае ее необходимости, заключается в повороте заготовки на 180° ;

- детали, имеющие кроме оси симметрии, совпадающей с осью вращения, также и две плоскости симметрии: совпадающую с этой осью и перпендикулярную этой оси. Примером могут служить, помимо простых деталей типа сплошного цилиндра и деталей с одинаковыми концами, также и детали типа круглых крышек и фланцев, детали с просверленными перпендикулярно оси вращения отверстиями и т. п. Здесь первоначальная ориентация заключается в совмещении осей вращения и симметрии, а вторичная ориентация — в обязательном последующем повороте заготовки на 180° в плоскости, перпендикулярной этой оси;

- детали, имеющие ось симметрии, совпадающую с осью вращения, и только одну плоскость симметрии, также совпадающую с этой осью. Примером могут служить цилиндрические детали с

фланцами и расположенными по центру глухими пазами, детали с лысками, шпоночными пазами и т. п. Здесь необходимы три ступени ориентации: после первичной ориентации, ведущей к совмещению оси симметрии с осью вращения, осуществляется вторичная ориентация, заключающаяся в необходимости повернуть заготовку в горизонтальной плоскости на 180° , а затем производится третья ступень ориентации, заключающаяся в повороте заготовки в этой плоскости на требуемый угол.

Заготовки плоских деталей (в том числе объемных корпусных) можно подразделить следующим образом:

- детали, имеющие три плоскости симметрии, причем все три координатных размера существенно отличаются друг от друга. Для таких заготовок следует применять однократную ориентацию;

- детали, имеющие две или три плоскости симметрии, причем два из трех координатных размеров равны или близки друг к другу. Такие заготовки поворачивают в одной плоскости на один и тот же угол, составляющий либо 90° , либо 180° , а затем осуществляют соответствующую вторичную ориентацию;

- детали, имеющие две плоскости симметрии, причем два из трех координатных размеров близки друг к другу. Такие заготовки также поворачивают в одной плоскости, но на разные углы, составляющие либо 90° , либо 180° , либо 270° , а затем осуществляют соответствующую вторичную ориентацию;

- детали, имеющие только одну плоскость симметрии, причем все три координатных размера существенно отличаются друг от друга. Такие заготовки поворачивают в двух координатных плоскостях на один и тот же угол. Вторичная ориентация и в этом случае необходима;

- детали, имеющие только одну плоскость симметрии, причем все три координатных размера близки друг к другу. Заготовки в этом случае следует поворачивать в двух координатных плоскостях, причем в одной координатной плоскости на один и тот же угол, а в другой координатной плоскости — на разные углы, составляющие либо 90° , либо 180° , либо 270° . Соответствующая вторичная ориентация при этом является необходимой.

Классификация заготовок приведена на рис. 5.4.

Промышленные роботы. В современных устройствах загрузки и выгрузки во все более широких масштабах применяются промышленные роботы. Они обеспечивают выполнение тех требований, которые предъявляются к устройствам загрузки и выгрузки станков, и способны использоваться для всех видов заготовок, используемых в современном машиностроении — для проката, для упаковок, для отливок, для заготовок, полученных штамповкой и сваркой.

В настоящее время промышленные роботы могут обеспечить выполнение следующих функций:

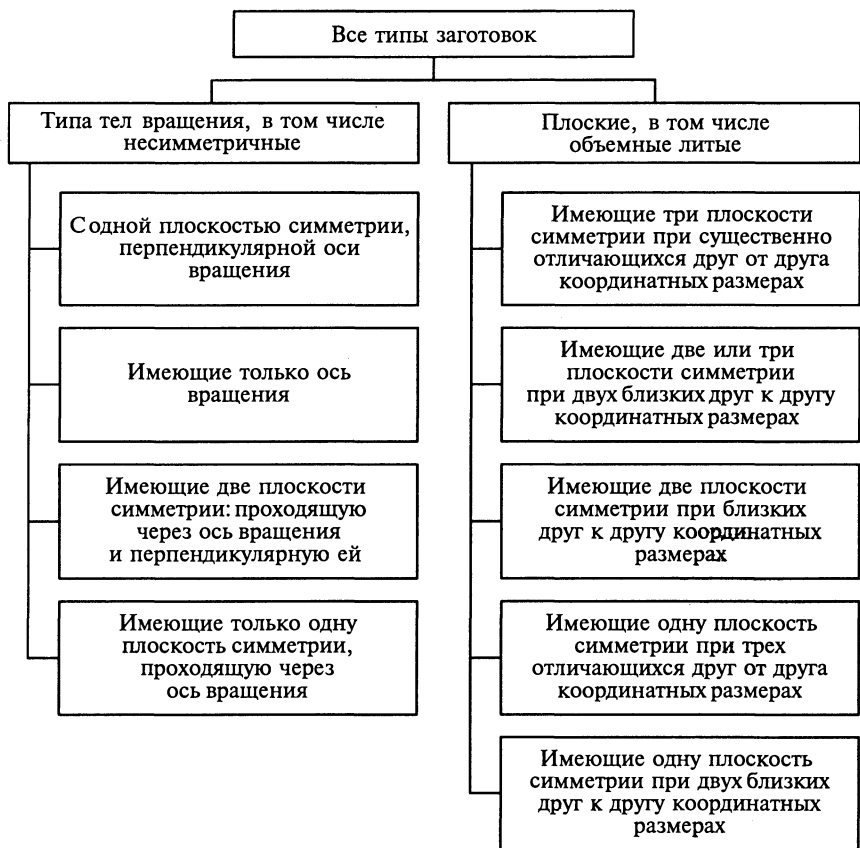


Рис. 5.4. Классификация заготовок по способам их автоматической загрузки

- установка заранее ориентированных заготовок в зажимное приспособление в рабочую зону станков;
- снятие обработанных деталей со станка и укладка их в устройство транспортировки или же раскладка в тару;
- кантование заготовок на заданный угол;
- синхронизация работ по загрузке-выгрузке и обработке детали путем генерации и выдачи соответствующих командных сигналов;
- межстаночное транспортирование;
- автоматическая смена технологической оснастки и режущего инструмента.

Уменьшение потерь времени на загрузку-выгрузку можно обеспечить как увеличением скорости движений рабочих органов робота, так и применением соответствующих конструктивных и ком-

поновочных решений, обеспечивающих выполнение движений по загрузке-выгрузке за время работы самого станка по выполнению тех или иных операций. К таким конструктивным и компоновочным решениям относятся использование двухзахватных устройств, роботов с двумя манипуляторами, установка между роботом и станком двух- и многоместных промежуточных позиций и др.

Общие требования к деталям, загружаемым с помощью специальных, специализированных и целевых промышленных роботов, можно свести к следующему:

- детали должны иметь однородные по форме и расположению поверхности, используемые для захвата и базировки;
- детали должны иметь ясно выраженные конструктивные и технологические базы и признаки ориентации;
- масса деталей должна находиться в пределах от 10 до 500 кг.

Более легкие детали оказывается возможным и целесообразным загружать в зажимные приспособления рабочих зон станков с помощью обычных устройств типа вибробункеров. Зачастую также оказывается более эффективной ручная загрузка и выгрузка. Для деталей с массой, превышающей 500 кг, требуется создавать промышленные роботы специальной конструкции.

С помощью промышленных роботов практически загружают следующие типоразмеры заготовок:

- диски, фланцы, кольца, заготовки блоков зубчатых колес диаметром от 25 до 320 мм и массой от 30 до 150 кг;
- гильзы, стаканы и втулки диаметром от 40 до 500 мм и массой до 500 кг;
- прямоосные гладкие и ступенчатые валы диаметром от 30 до 160 мм и массой от 50 до 160 кг.
- планки высотой от 30 до 200 мм и массой до 25 кг;
- шпонки высотой до 300 мм и массой до 65 кг;
- крышки прямоугольные высотой до 500 мм и массой до 160 кг;
- корпуса простой, большей частью, прямоугольной формы высотой до 500 мм и массой до 250 кг.

5.3. Гибкость автоматических линий машиностроения

Для современного машиностроительного производства характерно следующее:

- быстрое обновление продукции и сокращение жизненного цикла изделий;
- расширение номенклатурного ряда изделий, имеющее целью удовлетворение запросов потребителей;
- повышение качества и конкурентоспособности изделий;
- усиление влияния социальных и демографических факторов;

- дефицит и дороговизна квалифицированного труда;
- необходимость учета экологических факторов.

Для успешного решения всех этих задач необходимо, чтобы технологическое оборудование, будучи высокопроизводительным и обеспечивая требуемую точность, было способно к переналадке в процессе его эксплуатации при смене выпускаемого изделия.

Такую автоматическую линию, которая может обрабатывать не одну деталь, а целую номенклатуру деталей, но в точности известных на этапе проектирования, принято называть *переналаживаемой автоматической линией* (ПАЛ).

Гибкой автоматической линией машиностроения (ГАЛ) принято называть такую автоматическую линию, которая может обрабатывать новую номенклатуру деталей, не известных в точности на этапе проектирования данной линии. Ограничения в назначении такой номенклатуры заключаются в том, что принятые к обработке на данной линии новые детали должны соответствовать техническим характеристикам данной линии. Например, на автоматической линии, изначально предназначенной для токарной обработки, нельзя обрабатывать корпусные детали, а на автоматической линии, изначально предназначенной для обработки мелких и легких деталей, нельзя обрабатывать крупные и массивные детали. Кроме того, хотя обрабатываемые детали и не совпадают в точности с деталями, которые имелись в виду при проектировании данной автоматической линии, они должны быть аналогичны им, т.е. обладать по сравнению с ними большей степенью конструктивного и технологического подобия. Это позволит при обработке деталей из новой номенклатуры исходить из имеющихся станков и заданного числа рабочих позиций.

Гибкость современной автоматической линии есть сложное многогранное понятие, которое следует рассматривать с нескольких точек зрения.

Конструкционная гибкость — это возможность использования при проектировании автоматической линии унифицированных деталей и даже целых узлов, уже применявшихся при создании автоматических линий. Возможность такого многократного использования уже применявшихся элементов конструкций является прямым следствием принципа агрегатирования. Под конструкционной гибкостью автоматической линии следует также понимать ее способность к быстрому и не требующему больших трудозатрат перепроектированию ее оборудования для производства заданных типов деталей.

Технологическая гибкость автоматической линии — это способность к выполнению ряда новых, не задаваемых на этапе проектирования, технологических переходов. Эти переходы, как правило, выполняются на рабочих позициях данной автоматической линии с требуемой точностью. Но в процессе эксплуатации авто-

матической линии зачастую оказывается необходимым выполнять такие новые технологические переходы, для которых требуется встраивание новых станков, а также внесение изменений в транспортную систему и систему управления линией.

Структурная гибкость автоматической линии — это возможность модификации данной автоматической линии за счет введения новых технологических модулей и агрегатных станков, а также устройств транспортировки и загрузки-выгрузки.

Гибкость автоматической линии *по объему выпуска* — это способность эффективно функционировать при разных объемах производства.

Операционная гибкость автоматической линии — это способность к наладке тех или иных рабочих позиций на автономное управление режимами их функционирования и длительностью соответствующих рабочих циклов.

Если первые переналаживаемые автоматические линии были ориентированы, как правило, на ручную переналадку на два-три наименования деталей, то современные переналаживаемые автоматические линии ориентируются, как правило, на автоматическую переналадку на выпуск любой детали, если только она входит в заранее определенную группу. Число деталей в такой группе по мере технического прогресса имеет тенденцию возрасти, а длительность периода между запускаемыми в обработку партиями деталей, как и величины этих партий, — уменьшаться.

Гибкие автоматические линии машиностроения могут строиться по агрегатно-модульному принципу из комплектов унифицированных узлов, а могут снабжаться сменяемыми в процессе эксплуатации по программе шпиндельными головками, перемещаемыми по базе станка.

Необходимо учитывать, что унификация узлов подачи выдвигает свои специфические требования.

Применение унифицированных узлов подачи возможно, если обрабатываются одноименные или одинаковые поверхности на различных деталях или же если обрабатываются одноименные или одинаковые поверхности на одной и той же детали, но на разных режимах.

При эксплуатации унифицированных узлов подачи возникают следующие три случая:

- обрабатываются одинаковые поверхности различных деталей. Эти поверхности характеризуются одинаковыми конструктивными и технологическими параметрами, например при обработке отверстий под гильзы в блоках цилиндров автомобильных двигателей одинаковыми являются их длины, диаметры, требования по отклонениям от цилиндричности, параллельности, перпендикулярности к базовой поверхности, шероховатости и др. Разница в расположении этих отверстий у различных блоков цилиндров

здесь заключается только в расстоянии этих отверстий от базовой плоскости;

- обрабатываются различные поверхности у одной или у различных деталей. В этом случае обычно используются узлы, включающие в работу различные инструментальные блоки, такие как револьверные шпиндельные бабки, поворотные шпиндельные головки и т.п. Это узлы, обеспечивающие последовательную и последовательно-параллельную обработку;

- обрабатывается одна и та же поверхность у одной детали, но режимы обработки во время эксплуатации данной автоматической линии могут изменяться. В этом случае используемый силовой узел подачи должен обладать определенными резервами, допускающими изменение скоростей подач, как правило, заключающееся в их повышении.

Геометрические характеристики выбранных унифицированных силовых узлов подачи оказывают влияние на точность получаемых поверхностей. Для оценки этого влияния используются различные аналитические методы, а также строятся математические модели, основанные на теории графов.

Если гибкая автоматическая линия строится по агрегатно-модульному принципу из комплектов унифицированных узлов, то используются несколько многопозиционных продольно-поворотных рабочих столов (обычно три восьмипозиционных рабочих стола), на которых устанавливаются многошпиндельные коробки или контролирующие датчики. Для установки многошпиндельных головок применяются также продольные столы и поворотные барабаны. Обрабатываемую деталь обычно устанавливают на специальном столе, который может перемещаться в продольном направлении и поворачиваться, для того чтобы обрабатываемая деталь могла переместиться с него на рабочий стол.

Гибкие автоматические линии со сменяемыми шпиндельными головками, перемещаемыми по программе по базе станка, могут обрабатывать детали нескольких наименований. Сменяемые в процессе эксплуатации шпиндельные головки хранятся на специальном складе, откуда они по специальной команде, вырабатываемой системой управления линией, отыскиваются, подаются и устанавливаются для обработки соответствующей детали. Сама эта обрабатываемая деталь устанавливается на рабочем столе станка. Склад сменяемых в процессе эксплуатации шпиндельных головок представляет собой систему конвейеров, укладчиков, кантователей, подъемников и других устройств, обычно унифицированных, и в рамках подобной унификации характеризующихся различной физической природой и различной конструкцией.

Транспортирующие устройства автоматических линий как переналаживаемых, так и переналаживаемых гибких бывают следующих видов:

- линейные шаговые не базе храповых механизмов с храповыми перемещающими собачками;
- линейные шаговые не базе поворотных штанг и жестких перемещающих штырей;
- линейные шаговые типа транспортеров-перекладчиков;
- поворотные с поворотом стола на 90° вокруг вертикальной оси;
- поворотные с поворотом стола на 180° вокруг вертикальной оси;
- поворотные с поворотом барабана на 90° вокруг горизонтальной оси;
- поворотные с поворотом барабана на 180° вокруг горизонтальной оси.

5.4. Унифицированные узлы автоматических линий

Унифицированные узлы для компоновки агрегатных станков и автоматических линий представляют собой единое целое. К настоящему времени их численность составляет более 300 наименований.

Обработка заготовок на агрегатных станках и автоматических линиях производится с помощью силовых узлов, к которым относятся силовые головки, осуществляющие как движение подачи, так и вращение шпинделей, а также силовые столы, осуществляющие только движение подачи.

Силовые головки обладают выдвигной пинолью и выполняются либо с приводом от плоских кулачков, либо с гидравлическим приводом. В обоих этих случаях силовые головки предназначены для выполнения сверлильно-расточных, резьбонарезных и фрезерных работ при одно- и многошпиндельной обработке сравнительно небольших поверхностей.

Силовые столы прямолинейного движения выполняются либо с электромеханическим, либо с гидравлическим приводом и предназначены для установки узлов главного движения, таких как сверлильные или фрезерные бабки, или упорные угольники со шпиндельными коробками, а также зажимных приспособлений. Силовые столы могут устанавливаться на горизонтальную, вертикальную или наклонную станину при том условии, что движение подачи или его вертикальная составляющая направлены сверху вниз. Противоположное направление движения подачи или его вертикальной составляющей не допускается.

Другой важной разновидностью часто применяемых унифицированных узлов агрегатных станков и автоматических линий явля-

ются шпиндельные узлы. Шпиндельные узлы подразделяются на силовые бабки и многошпиндельные коробки.

Силовые бабки по типу выполняемых ими операций подразделяются на сверлильные, фрезерные и расточные. Существуют также силовые бабки, предназначенные для выполнения некоторых специальных операций, таких, например, как подрезка торца или протачивание канавок для последующего выполнения расточных операций.

Другой разновидностью силовых бабок являются револьверные бабки либо с веерным, либо параллельным расположением осей шпинделей. Револьверные силовые бабки с веерным расположением осей шпинделей предназначены для многопроходной обработки одной или нескольких заготовок с автоматической сменой инструмента. Револьверные силовые бабки с параллельным расположением осей шпинделей предназначены для окончательной обработки одного отверстия несколькими инструментами за несколько проходов. В отличие от силовых столов, револьверные силовые бабки могут монтироваться таким образом, чтобы их рабочая подача или же ее вертикальная составляющая были направлены снизу вверх. Однако соответствующий угол наклона не должен превышать 15° .

Многошпиндельные коробки применяются для оснащения силовых головок при одновременной обработке нескольких поверхностей одним силовым узлом. В комплект многошпиндельной головки обычно входят комплект корпусных деталей, комплекты шпинделей и промежуточных валов, комплект привода с электродвигателем, зубчатые колеса и система смазки. Многошпиндельные головки проектируют из унифицированных деталей в соответствии с конкретным технологическим процессом. У многошпиндельных коробок, как у законченных узлов, унифицированы только присоединительные размеры.

Унифицируются также элементы отдельных деталей, входящих в многошпиндельные коробки, например концы шпинделей.

По характеру выполняемых работ многошпиндельные коробки, также как и силовые бабки, подразделяются на три группы.

К многошпиндельным коробкам сверлильной группы относятся:

- многошпиндельные сверлильные коробки, предназначенные для выполнения всех видов сверлильных работ, но не способные выполнять резьбонарезание;
- комбинированные многошпиндельные сверлильно-резьбонарезные коробки, предназначенные для выполнения всех видов сверлильных работ, а также операций резьбонарезания;
- многошпиндельные резьбонарезные коробки, предназначенные только для выполнения операций резьбонарезания;
- многошпиндельные коробки специального назначения.

Многошпиндельные коробки сверлильной группы обеспечивают выполнение таких операций, как сверление, зенкерование, развертывание и резьбонарезание.

К многошпиндельным коробкам расточной группы относятся:

- сверлильные бабки, komponуемые из унифицированных элементов шпиндельных узлов;
- многошпиндельные сверлильные, расточные и подрезочно-расточные бабки, komponуемые из унифицированных элементов одношпиндельного исполнения и элементов шпиндельных коробок;
- расточные коробки специального назначения.

Многошпиндельные коробки расточной группы обеспечивают выполнение таких операций, как сверление без кондуктора, растачивание, зенкерование, развертывание, подрезку торцов и т. п.

К фрезерной группе относятся многошпиндельные коробки специального назначения.

У всех многошпиндельных коробок унифицированы размеры и входящие в них детали, такие как корпуса, промежуточные валы, привода и др.

К унифицированным базовым узлам и деталям относятся в первую очередь средние или центральные станины. К ним могут присоединяться боковые станины, непосредственно на которые устанавливаются силовые столы прямолинейного движения, а также станины-подставки, на которые устанавливаются стойки или колонны для установки силовых столов прямолинейного движения.

Для установки на силовых столах многошпиндельных коробок используются различные упорные угольники. Ширина привалочной плоскости угольника принимается равной соответствующему габаритному размеру данного силового стола, а ширина привалочной плоскости угольника под данную многошпиндельную коробку соответствует габаритному размеру следующего из унифицированного ряда силового стола.

Среди транспортных узлов в настоящее время унифицированы следующие:

- столы делительные встраиваемые без стружкосборника;
- столы делительные встраиваемые со стружкосборником;
- столы делительные накладные со стружкосборником.

Накладные и встраиваемые делительные столы предназначены для периодического перемещения детали, обрабатываемой на данном агрегатном станке или данной автоматической линии, на следующую рабочую позицию с требуемой фиксацией этой детали на данной позиции.

Соответствующая классификация унифицированных узлов агрегатных станков и автоматических линий приведена на рис. 5.5.

Для компоновки агрегатных станков и автоматических линий наряду с унифицированными используются также и с п е ц и а л ь -

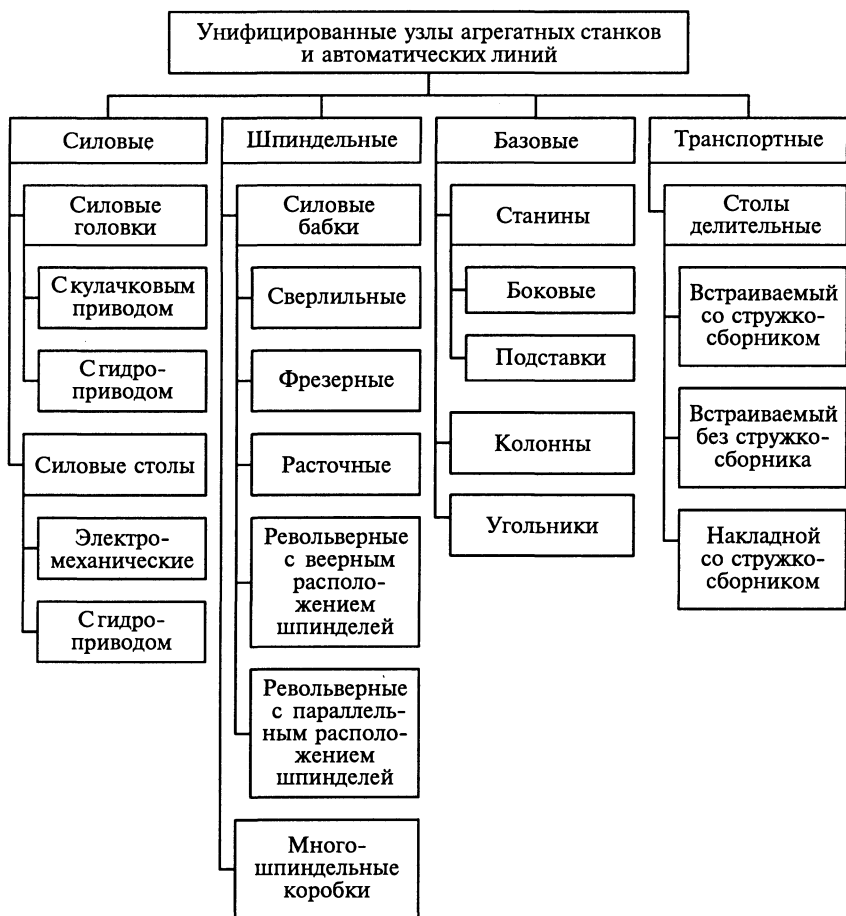


Рис. 5.5. Классификация унифицированных узлов агрегатных станков и автоматических линий

ные узлы, построенные на основе типовых конструктивных решений из унифицированных элементов и деталей.

Одними из важнейших узлов такого рода являются *шпиндельные*. Эти узлы должны обеспечить передачу вращательного движения от привода с исполнительным электродвигателем к рабочим органам, представляющим собой обычно многошпиндельные коробки или насадки. Шпиндельная насадка отличается от шпиндельной коробки тем, что она насаживается на пиноль соответствующей силовой головки и перемещается вдоль оси этой пиноли вместе с ней. При переходе к другой заготовке положение шпинделей у насадки может в определенных пределах регулироваться.

Шпиндельная же коробка крепится к силовому столу либо непосредственно, либо через посредство установочной плиты или угольника.

Для направления режущего инструмента в автоматических линиях и агрегатных станках используют различного рода кондукторные плиты и поддержки, называемые также *люнетами*.

Кондукторные плиты, в свою очередь, подразделяются на неподвижные и подвижные. Неподвижные кондукторные плиты выполняются за одно целое с корпусом установочного приспособления. Подвижные плиты фиксируются на корпусе приспособления только для выполнения той операции, для которой они предназначены. Для сохранения точности координатного расположения направляющих отверстий в кондукторную плиту вставляют направляющие закаленные втулки, «рубашки».

На автоматических линиях заготовки и полуфабрикаты обрабатываются на рабочих позициях в различных зажимных приспособлениях.

Для обработки крупно- и среднегабаритных заготовок и полуфабрикатов, имеющих подготовленные базовые поверхности, используются одно- или многоместные *стационарные зажимные приспособления*, установленные на сверлильно-резьбонарезных станках.

Для обработки с разных сторон заготовок и полуфабрикатов средних и небольших размеров применяются многопозиционные многоместные зажимные приспособления, устанавливаемые на делительных столах сверлильно-резьбонарезных станков.

Для обработки с разных сторон заготовок и полуфабрикатов небольших размеров применяются зажимные приспособления, выполненные в одном корпусе или в нескольких отдельных корпусах, которые устанавливаются на вертикальном станке с центральной колонной и силовыми узлами.

Для обработки с разных сторон заготовок и полуфабрикатов небольших размеров в зависимости от технологического процесса применяются также многопозиционные многоместные зажимные приспособления, устанавливаемые на горизонтальном одно-, двух- и трехстороннем сверлильно-резьбонарезном станке и смонтированные на его делительном барабане.

Для последовательной обработки групп отверстий, расположенных столь близко друг к другу, что их невозможно обрабатывать одновременно, применяются зажимные приспособления, устанавливаемые на силовом столе комбинированного многопозиционного многостороннего станка с подачей заготовки этим силовым столом или специальным позиционирующим столом.

На автоматических линиях зажим заготовок и полуфабрикатов после окончания операций транспортировки для выполнения над ними операций обработки также должен выполняться автомати-

чески. Приводы зажимных приспособлений бывают пневматическими, гидравлическими, электромеханическими, электромагнитными и гидромеханическими.

Конструкции зажимных приспособлений для агрегатных станков и автоматических линий унифицированы и приводятся в соответствующих справочниках.

5.5. Обработка на гибких автоматических линиях

Переналаживаемые автоматические линии проектируются для обработки нескольких деталей, перечень которых изначально известен.

Однако гибкой в полном смысле этого слова можно назвать лишь такую автоматическую линию, которая проектируется для обработки нескольких деталей, которые с конструктивной и технологической точек зрения подобны заранее известным деталям, но в пределах названных ограничений могут быть любыми. Всякая гибкая автоматическая линия должна быть переналаживаемой, но не всякую переналаживаемую автоматическую линию можно назвать гибкой в полном смысле этого слова.

Для проектирования гибкой автоматической линии в настоящее время применяются принципы групповой технологии. Это значит, что гибкая автоматическая линия изначально проектируется под определенную номенклатуру деталей, выбранных в качестве представителей. Наибольшим разнообразием отличаются различные корпусные детали, поэтому именно их в первую очередь следует специально распределять по соответствующим группам.

Технологические операции механической обработки, выполняемые на станках, образующих автоматическую линию, характеризуются многими параметрами, к числу которых относятся вид данной операции, расположение обрабатываемых на данной операции поверхностей относительно базовых, достигаемая точность, а также режимы, на которых она выполняется. В настоящее время с целью выбора математическими методами деталей-представителей для обработки на автоматических линиях принято рассматривать два основных параметра, используемых для проектирования.

К этим параметрам относятся координаты приложения действия режущего инструмента, а также точность позиционирования рабочего органа по этим координатам. Что касается таких параметров операции, как рабочие режимы или вид сменяемых инструментов, необходимость и последовательность их смены, то они задаются по командам от системы управления.

Будем исходить из того, что технологический маршрут перемещения заготовки или полуфабриката по автоматической линии задается выражением вида

$$M_y = \bigcup_{ik}^n (x_{ik}, y_{ik}, z_{ik}, E_{ik}),$$

где x, y, z — координаты положения обрабатывающего органа; i — номер операции; n — общее число операций в технологическом маршруте; k — номер обрабатываемой детали; E_{ik} — требуемая точность позиционирования рабочего органа на i -й операции для k -й детали; \cup — знак объединения множеств.

При построении технологического маршрута обработки заготовки или полуфабриката на гибкой автоматической линии нужно указать, какие операции выполняются раньше, а какие позже, или же какую последовательность операций технологического процесса для данной гибкой автоматической линии можно заранее считать недопустимой. В формализованном виде это задается в виде вектора перемещений

$$N = f(p_1, p_2, \dots, p_n),$$

где p_1, p_2, \dots, p_n — допускаемый порядковый номер соответствующего перемещения в данной операции технологического маршрута.

Для представления обобщенной конструкции детали, входящей в состав группы, предназначенной к обработке на проектируемой гибкой автоматической линии, будем исходить из того, что область возможных перемещений исполнительного органа данной линии можно задать в виде прямоугольного параллелепипеда, ребрами которого являются параметры перемещений по координатным осям:

$$X = \Delta x; Y = \Delta y; Z = \Delta z.$$

Например, при описании площадки заданных размеров, на которой должны быть получены отверстия, для двух разных деталей возникают следующие ограничения:

$$A_{\min 1} < y_1 < A_{\max 1}; A_{\min 2} < y_2 < A_{\max 2};$$

$$C_{\min 1} < z_1 < C_{\max 1}; C_{\min 2} < z_2 < C_{\max 2};$$

$$E_{\min 1} < x_1 < E_{\max 1}; E_{\min 2} < x_2 < E_{\max 2},$$

где A_{\min} и A_{\max} — соответственно координаты отверстий K_1 и K_2 по оси Y ; C_{\min} и C_{\max} — соответственно координаты отверстий K_1 и K_2 по оси Z ; x — глубины обрабатываемых отверстий K_1 и K_2 ; E_{\min} и E_{\max} — границы точности позиционирования рабочих органов при подаче вдоль координатной оси X .

Возникает вопрос о возможности дополнительной обработки на уже существующей переналаживаемой автоматической линии новых деталей с новыми размерами и требованиями к точности обработки, а зачастую и с новой конфигурацией.

Взаимосвязь компонентов, включенных в состав переналаживаемой автоматической линии на этапе ее проектирования, в формализованном виде записывается следующим образом:

$$W_i = f_1[I_i; T_{(a.l)i}; \sum \Phi_i];$$

$$I_i = f_2(V_i; M_i; HB_i).$$

Здесь W_i — набор технических характеристик автоматической линии, предусмотренных на этапе ее проектирования для обработки i -й детали; I_i — вектор исходной информации о конструкции i -й детали, предусмотренной на этапе проектирования данной автоматической линии; $T_{a.l}$ — упорядоченное множество операций по технологическому процессу обработки наиболее сложной детали из числа предусмотренных при проектировании данной автоматической линии; $\sum \Phi_i$ — общий фонд рабочего времени; V_i, M, HB_i — соответственно общие габаритные размеры, масса и твердость материала заготовки i -й детали, предусмотренной на этапе проектирования данной автоматической линии. Следует учитывать, что общие V_i габаритные размеры i -й детали задаются ее габаритными размерами по координатным осям, а именно: длиной L_i , шириной B_i и высотой H_i , причем именно в таком порядке следования.

При рассмотрении вопроса о производстве на данной автоматической линии новой j -й детали соотношения, приведенные ранее, приобретают следующий вид:

$$W_j = \psi_1(W_i);$$

$$I_j = \psi_2(I_i).$$

Массив информации о новой детали рассматривается в определенной последовательности, начиная с анализа ограничений новой детали по габаритным размерам.

Ограничения на габаритные размеры новой детали имеют вид

$$V_j \leq V_i.$$

Если это ограничение выполняется, то следует продолжить анализ имеющегося оборудования по его функциональным возможностям.

Технологические функциональные ограничения, характерные для использования имеющейся переналаживаемой автоматической линии, в формализованном виде можно записать следующим образом:

$$T_{(a.l)j} \subseteq T_{(a.l)i}$$

Это означает, что технологический процесс новой детали должен перекрываться технологическим процессом, предусмотренным при проектировании данной автоматической линии, или даже совпадать с ним.

Функциональные ограничения, связанные с необходимостью обеспечения требуемой производственной программы, в формализованном виде записываются следующим образом:

$$\Phi_{\text{общ}} \geq \Phi_j + \sum \Phi_i,$$

где $\Phi_{\text{общ}}$ — общий фонд времени работы данной автоматической линии.

Если требования по технологическим возможностям и производительности данной автоматической линии удовлетворяются, то следует оценить величину и эффективность затрат на связанные с запуском новой детали переналадку, перекомпоновку и модернизацию существующей автоматической линии. Надо учесть, что запуск в производство новых деталей может сопровождаться снятием с производства старых. Этот случай также охватывается описанным выше подходом.

Итак, оценка возможности и целесообразности запуска в производство новой детали на существующей переналаживаемой автоматической линии сводится к следующим действиям:

- составляется информационная модель новой детали;
- производится анализ массогабаритных характеристик новой детали;
- производится анализ технологического маршрута обработки новой детали;
- производится анализ достигаемой точности и качества обработки новой детали;
- производится анализ ожидаемой производительности существующей автоматической линии при выпуске новой детали;
- производится анализ экономической эффективности выпуска новой детали на существующей автоматической линии.

Составление информационной модели новой детали базируется на анализе рабочего чертежа новой детали и рабочего чертежа ее заготовки.

Рабочий чертеж новой детали включает в себя данные о конфигурации новой детали, ограничивающих ее рабочих поверхностях, материале детали и его твердости, твердости некоторых поверхностей детали, например закаливаемых поверхностях, требованиях к точности обрабатываемых поверхностей, требованиях к шероховатости и качеству обрабатываемых поверхностей, о взаимном расположении поверхностей, об «увязке» черновых и чистовых обрабатываемых поверхностей.

Технологический процесс, реализованный на действующей автоматической линии обработки детали, помимо всего прочего, для целей проводимой оценки должен включать в себя данные о базовых поверхностях, поверхностях для транспортирования, а также о маршрутной технологии. Эти данные могут быть представлены как совокупность методов обработки детали и совокупность переходов в зависимости от требований к шероховатости, качеству и точности обработки данной поверхности, а также могут привести к определенному группированию переходов обработки данной поверхности.

Для анализа требуемой производительности при выпуске новой детали следует исходить из производственной программы выпуска этой детали. Общий фонд времени существующей автоматической линии, который может быть выделен для производства новой детали, складывается из времени, затрачиваемого на переконфигурацию, переналадку, а в случае необходимости, и на модернизацию этой линии, и времени, необходимого для выполнения этой переналаженной автоматической линией рабочих операций нового технологического процесса.

Проведя анализ всех этих показателей, можно сделать заключение о целесообразности или нецелесообразности использования для производства новой детали уже существующей автоматической линии.

5.6. Переналадки и межоперационные заделы

Систему управления любой автоматической линией следует рассматривать как нижний уровень общезаводской автоматизированной системы управления процессом (АСУП). Из заводской АСУП такая локальная система управления обычно получает следующие данные:

- информация о потребности участка сборки в деталях по периодам оперативного планирования, т. е. чаще всего на три месяца с подекадной разбивкой, на один месяц или на определенную дату;
- графики помесячного выпуска деталей применительно к данной автоматической линии;
- план по номенклатуре применительно к данной автоматической линии, чаще всего на три месяца с подекадной разбивкой, на один месяц или на определенную дату;
- сличительная ведомость применительно к данной автоматической линии;
- пооперационные планы-графики применительно к данной автоматической линии;
- информация о числе деталей применительно к данной автоматической линии; необходимом для обеспечения годовой производственной программы.

Обратно из локальной системы управления конкретной автоматической линией в общезаводскую АСУП обычно поступают следующие данные:

- сведения о загрузке оборудования линии по периодам оперативного планирования;
- данные о приеме-сдаче деталей;
- данные о браке, потерях и дефиците;
- данные о передаче деталей на склад;
- остаток деталей на начало месяца, данные по незавершенному производству;
- данные о движении деталей между складами за месяц;
- ежедневные сводки о сдаче продукции данной линией;
- сводки о сорванных данной линией позициях производственной программы.

Если на данном предприятии АСУП отсутствует, то обмен этими данными производится помимо информационно-вычислительного центра непосредственно между системой управления данной линией и традиционными общезаводскими планово-диспетчерскими, а также смежными службами.

Получив из АСУП или из традиционных общезаводских планово-диспетчерских органов и смежных служб соответствующие директивные указания, касающиеся перечня выпускаемых партий деталей, сроков и объемов их выпуска, локальная система управления данной автоматической линией, использующая компьютерные средства, должна быть применена для определения последовательности запуска этих партий деталей в производство на данной линии, а также для определения возникающих при этом межоперационных заделов.

Определение переналадок. Периодичность R запуска в производство на данной линии новых партий и ее соответствующих переналадок определяется из соотношения

$$R = (\sum t_{nj}) / [1 - \sum (r_{\Phi j} / r_j)],$$

где t_{nj} — время переналадки линии на обработку j -й партии деталей; $r_{\Phi j}$ и r_j — фактический и расчетный пооперационные ритмы выпуска j -й детали соответственно.

Если продолжительность переналадок данной автоматической линии на предназначенные к обработке партии деталей достаточно велика и зависит от последовательности этих переналадок, например если переналадка на обработку на данной линии партии B с обработки партии A занимает 4 ч, а переналадка на обработку на данной линии партии D с обработки партии C занимает, например, 2 ч, то следует назначить такую последовательность обработки партий деталей, которая бы минимизировала суммарное время, требуемое для выполнения необходимых переналадок.

Длительности переналадок для всех возможных последовательностей запуска партий деталей в обработку обычно задаются в виде матрицы переналадок

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	0	X_{AB}	X_{AC}	X_{AD}
<i>B</i>	X_{BA}	0	X_{BC}	X_{BD}
<i>C</i>	X_{CA}	X_{CB}	0	X_{CD}
<i>D</i>	X_{DA}	X_{DB}	X_{DC}	0

Приведенная матрица для случая четырех партий деталей, обозначаемых *A*, *B*, *C* и *D*.

Здесь, например, X_{AB} — это время переналадки данной линии с обработки партии деталей *A* на обработку партии деталей *B*. Разумеется, на главной диагонали матрицы переналадок должны стоять нули. Эта матрица не должна быть симметричной, так как в общем случае переналадка линии на обработку партии деталей *A* с обработки партии деталей *B* не такая, как переналадка линии на обработку партии деталей *B* с обработки партии деталей *A*, иными словами $X_{AB} \neq X_{BA}$.

В таком виде задача минимизации суммарного времени переналадок оказывается аналогичной известной в математике задаче, которая называется «проблема коммивояжера». Эта проблема формулируется следующим образом. Коммивояжер, отправляясь из того или иного города, должен посетить каждый из некоторого числа городов и вернуться в исходный пункт. Последовательность посещения им всех этих городов должна быть такова, чтобы суммарная стоимость билетов на поездки, приобретаемых коммивояжером, была минимальной. В рассматриваемом случае понятие «стоимость билета» соответствует времени переналадки, а города, которые должен посетить коммивояжер, — партиям деталей, на которые производится переналадка данной линии. Методы решения этой задачи хорошо известны, описаны в литературе, и для них имеются соответствующие компьютерные программы.

Сущность этих методов применительно к задаче определения последовательности переналадок на данной линии сводится к тому, что рабочий процесс *t* представляется как последовательность *n* переналадок данной линии с обработки партии деталей i_k на обработку партии деталей i_{k+1} , что в формализованном виде записывается следующим образом:

$$t = [(i_1, i_2)(i_2, i_3) \dots (i_{n-1}, i_n)(i_n, i_1)].$$

Графически каждый член этой последовательности, имеющий вид (i_k, i_{k+1}) , изображается в виде куста графа, последовательность соединений которого и будет соответствовать последователь-

ности переналадки с обработки на данной линии партии деталей i_k на обработку партии деталей i_{k+1} .

Общее время переналадок $Z(t)$ находится путем суммирования элементов исходной матрицы времен переналадок в соответствии с найденной последовательностью переналадок (i_k, i_l) .

Минимизировать именно суммарное время, затрачиваемое на переналадку данной автоматической линии, оказывается целесообразным тогда, когда время этой переналадки сопоставимо со временем выполнения обработки деталей этой новой партии, т. е. когда сама новая деталь обладает сравнительно небольшой трудоемкостью при небольшом размере партии, на которую производится переналадка. Это характерно для гибких автоматических линий по обработке деталей типа тел вращения. Если же время переналадки сравнительно невелико по сравнению со временем обработки партии новых деталей и сами эти новые детали являются достаточно дорогими, то минимизировать нужно не суммарное время переналадки, а размер запускаемых партий новых деталей. Именно эта ситуация характерна для обработки на гибких автоматических линиях корпусных деталей.

Определив тем или иным способом последовательность запуска в обработку на данной гибкой автоматической линии партий деталей, можно перейти к определению возникающих при этом заделов.

Определение заделов. Сначала нужно выяснить, предполагается ли передача деталей с одной рабочей позиции на другую по одной штуке, т. е. проверить то условие, что $n_{\text{тр}} = 1$, где $n_{\text{тр}}$ — размер транспортной партии. Если это условие выполняется, то величина технологического задела $Z_{\text{техн}}$ по всей гибкой автоматической линии вычисляется по формуле

$$Z_{\text{техн}} = \sum_{i=1}^m c_{iq},$$

где m — общее число рабочих позиций в данной гибкой автоматической линии; c_i — число рабочих мест на i -й рабочей позиции; q — число деталей, одновременно обрабатываемых на одном рабочем месте.

Если же транспортная партия между рабочими позициями не равняется одной штуке, т. е. проверяемое условие не выполняется, то величина технологического задела $Z_{\text{техн}}$ по всей гибкой автоматической линии вычисляется по другой формуле, а именно:

$$Z_{\text{техн}} = n_{\text{тр}} \sum_{i=1}^m c_i.$$

Найденное по одной из этих формул значение технологического задела $Z_{\text{техн}}$ заносится в накапливающий сумматор, обозначаемый $\langle Z \rangle$.

Затем выясняется, является ли транспортировка, применяемая на данной гибкой автоматической линии, непрерывной или нет. Если применяемая транспортировка является непрерывной, т.е. осуществляется устройствами типа конвейеров, непрерывно вращающихся ролягангов, наклонных склизов, то транспортный задел $Z_{\text{тр}}$ внутри данной линии определяется по формуле

$$Z_{\text{тр}} = (L/l)n_{\text{тр}},$$

где L — расстояние между позициями; l — расстояние между деталями.

Если же применяемая транспортировка не является непрерывной, то транспортный задел $Z_{\text{тр}}$ определяется по формуле

$$Z_{\text{тр}} = n_{\text{тр}}m.$$

Полученное значение $Z_{\text{тр}}$ также заносится в общий накапливающий сумматор.

Естественно, что у одной гибкой автоматической линии коэффициенты сменности всех рабочих позиций одинаковы. Поэтому проверку одинаковости этих коэффициентов, обязательную для расчета заделов при прохождении деталию нескольких участков, здесь производить не следует. Однако является обязательной проверка продолжительностей t_i и t_{i+1} обработки детали на смежных рабочих позициях. Если эти продолжительности равны между собой, то оборотный задел здесь не требуется, т.е. $Z_{\text{об}} = 0$. В противоположном случае величина $Z_{\text{об}}$ вычисляется по формуле

$$Z_{\text{об}} = (1/r) \left(R_0 i_0 - 1/2 \sum_{i=1}^{i_0} t_{\text{кор}} \right),$$

где R_0 — период регламента на прерывной линии, т.е. период обслуживания оператором закрепленных за ним операций, мин; r — такт работы линии, мин; i_0 — число пар смежных операций, для которых вычисляется оборотный задел; $t_{\text{кор}}$ — продолжительность более короткой операции в каждой паре проверяемых смежных операций.

Найденное значение оборотного задела $Z_{\text{об}}$ также заносится в общий накапливающий сумматор.

Далее проверяют, не превышает ли коэффициент загрузки оборудования γ заданное предельное значение $\gamma_{\text{пр}}$. Обычно $\gamma_{\text{пр}} = 80\%$. Если $\gamma \leq \gamma_{\text{пр}}$, то страховой задел $Z_{\text{стр}}$ принимается равным нулю. Если оказывается, что $\gamma > \gamma_{\text{пр}}$, то необходимо проверить наличие на этой линии резервных станков $C_{\text{рез}}$. Если резервные станки на данной линии имеются, т.е. $C_{\text{рез}} \geq 1$, то в страховом заделе необходимости нет и $Z_{\text{стр}} = 0$. Если же оказывается, что $C_{\text{рез}} < 1$, то проверяется наличие резервной смены $S_{\text{рез}}$. Когда резервная смена имеется, т.е. $S_{\text{рез}} > 1$, в страховом заделе также нет необходимости и

$Z_{\text{стр}} = 0$. При отсутствии резервных смен страховой задел необходим. В этом случае он вычисляется по следующей формуле:

$$Z_{\text{стр}} = \frac{\sum T_{\text{пр}}}{r} K,$$

где $\sum T_{\text{пр}}$ — сумма времени ожидаемых простоев, мин; K — коэффициент неравномерности, обычно $K > 1$.

Найденное значение страхового задела также заносится в общий накапливающий сумматор.

Наконец, можно определить наладочный задел $Z_{\text{н}}$. Он вычисляется по формуле

$$Z_{\text{н}} = \sum_{i=1}^{m-1} \frac{e t_{\text{н}}}{r},$$

где e — число одновременно заменяемых на данной операции инструментов; $t_{\text{н}}$ — средняя продолжительность замены и наладки одного инструмента, выраженная в минутах. Найденное значение величины наладочного задела $Z_{\text{н}}$ также заносится в общий накапливающий сумматор.

Алгоритм последовательного вычисления заделов гибкой автоматической линии, описанный ранее, реализуется в соответствии со сказанным.

5.7. Запасы на входе и выходе автоматической линии

Современная автоматическая линия представляет собой высокопроизводительную систему машин. Именно поэтому для ее безостановочной работы на входе подобной линии необходимо создавать определенные запасы заготовок. Запасы деталей, прошедших обработку на данной линии, могут скапливаться на ее выходе. Входные и выходные запасы автоматической линии служат для ее связи с окружающей производственной и экономической средой. Эти запасы обеспечивают сглаживание колебаний, которые возникают вследствие того, что автоматическая линия обрабатывает детали со своим ритмом, а заготовки на ее вход в общем случае поступают неритмично. Так же неритмично с выхода линии могут забираться и обработанные на ней детали.

При создании запасов на входах и выходах автоматической линии необходимо решать две различные задачи.

Первая задача заключается в разработке методического подхода к формированию и контролированию входных и выходных запасов автоматической линии.

Вторая задача состоит в адекватном выборе и использовании технических средств хранения, поиска и выдачи грузоединиц в

соответствии с принятыми методами формирования и контроля входных и выходных запасов автоматической линии. *Грузоединица* — это понятие, соответствующее некоторому весовому или объемному количеству данного продукта, которое загружается, размещается, хранится, отыскивается и выдается как единое целое. Грузоединица представляет собой исходное понятие всяких складских операций.

Все запасы, создаваемые на входах и выходах автоматической линии, можно подразделить следующим образом.

Технологические запасы обусловлены самим характером технологического процесса машиностроительного производства.

Текущие запасы, иначе называемые также переходными, представляют собой запасы в одну партию деталей каждого наименования, образуемые за один среднестатистический период производства.

Страховые запасы, иначе называемые также буферными или резервными, служат для сглаживания случайных колебаний запросов на обработанные детали или срыва поставок заготовок.

Спекулятивные запасы, создаваемые для компенсации возможных изменений ситуации с обработанными деталями или заготовками, например в связи с колебаниями цен, курсов валют, трудовыми конфликтами и т. п.

Сезонные запасы, связанные с сезонными изменениями ситуации с ценами, транспортировкой и т. п.

Иногда все виды запасов, используемых в автоматических линиях, подразделяют на производственные и товарные запасы.

Производственные запасы создаются на различных этапах производственного процесса и предназначаются для внутреннего употребления производством.

Товарные запасы представляют собой запасы продукции, в том числе заготовок, например отливок станин, и деталей, создаваемые на выходах изготовителей, а также находящиеся в пути на различных стадиях транспортировки.

Как производственные, так и товарные запасы могут принадлежать к любому из названных ранее типов.

Соответствующая классификация запасов приведена на рис. 5.6.

Создание и поддержание различных материальных запасов требует затрат как на сами материальные ценности, образующие эти запасы, так и на создание и поддержание системы складирования, хранения и поиска запасаемых заготовок и деталей. Однако создание подобных запасов может предотвращать возникновение дефицита и в ряде случаев оказывается экономически выгодным.

При разработке методического подхода к созданию и поддержанию различных видов материальных запасов приходится решать две различные методические задачи.

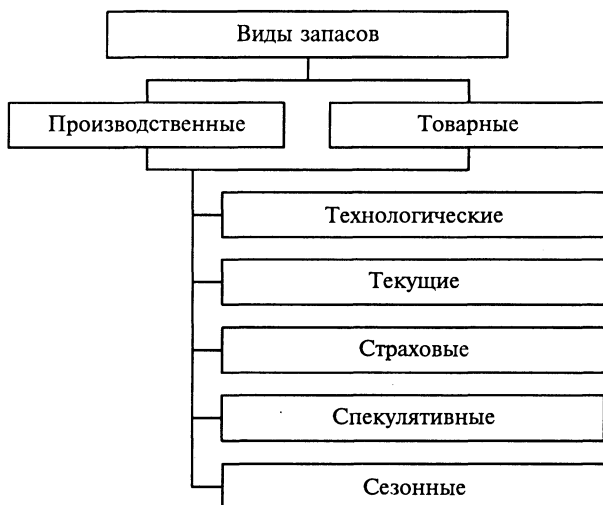


Рис. 5.6. Классификация запасов в машиностроении

Первая из этих задач состоит в определении нормы запаса, т. е. такого его минимального количества, которое обеспечивает решение тех проблем, ради которых и создается данный запас. Величина такой нормы может быть определена различными методами: эвристическими и методами экспертной оценки, которые основаны на волевых решениях специалистов; статистическими, которые основаны на имеющемся опыте данного предприятия, удачном или неудачном; эконометрическими, называемыми также методами технико-экономических расчетов, которые основаны на анализе и калькуляции отдельных элементов запасов на базе использования тех или иных технико-экономических зависимостей, а также экономико-математическими методами, которые основаны на описании случайных колебаний поставок заготовок и потребления обработанных деталей с использованием аппарата математической статистики.

Вторая задача состоит в создании системы контроля за уровнем запасов и в проведении такого контроля с учетом принятых норм.

Все рассмотренные выше разновидности запасов следует рассмотреть с одной точки зрения: допускает ли та система машин, входом которой они являются, возникновение хоть кратковременного дефицита, т. е. превышение потребления над поставками, или нет. Если дефицит даже на короткое время не допускается, как это имеет место в случае автоматической линии, то оказывается необходимым создание *страхового*, иначе называемого также буферным или резервным, входного запаса. В случае нали-

чия такого запаса на входе данной автоматической линии, по достижении потреблением данной линии границы между страховым и рабочим запасами дальнейшее потребление переключается на расходование страхового запаса, так что рабочим становится именно он. Бывший рабочий запас становится страховым и пополняется заготовками по мере их поступления. Далее процесс переключения страхового и рабочего запасов повторяется.

С одной стороны, страховой запас должен назначаться таким образом, чтобы не допускать возникновения на входе данной линии дефицита. С другой стороны, он не должен быть слишком большим. Вопрос о выборе соотношения между рабочим и страховым запасами решается из следующих соображений.

Естественно считать, что промежуток времени между выявлением необходимости в подаче новой заготовки и ее фактическим поступлением к входу автоматической линии, будучи случайной величиной, распределяется по равномерному закону. Это означает, что ни один из промежутков времени, лежащих между его максимальным T_{\max} и минимальным T_{\min} значениями, не может быть предпочтен какому-либо промежутку времени из числа всех остальных. В таком случае интенсивность μ фактического поступления заготовок в зону запасов данной автоматической линии определится по соотношению

$$\mu = \frac{2}{T_{\max} + T_{\min}}.$$

Для общности будем считать, что входной запас создается для удовлетворения запросов, поступающих с одинаковой интенсивностью λ не от одной, а от n автоматических линий. В частности, n может равняться и 1. Если считать, что k из этих запросов удовлетворяются за счет действующих рабочих запасов, то суммарная интенсивность λ_k потока запросов на пополнение входных запасов составит

$$\lambda_k = (n - k)\lambda.$$

При любых значениях λ и μ система запасов должна находиться в стационарном режиме. Для такого режима в математической статистике имеются готовые соотношения, которыми и следует воспользоваться. Например,

$$P_0 = 1 / \left\{ \sum_{k=1}^n [n! / (n - k)!] \rho^k \right\},$$

где P_0 — вероятность того, что запросы на пополнение запасов отсутствуют; ρ — отношение интенсивностей поступления запросов на заготовки от автоматических линий λ и фактического поступления заготовок μ .

Вероятность P_k того, что в зону хранения запасов поступит точно k запросов от автоматических линий, определяется следующим соотношением:

$$P_k = P_0 \{ (n! \rho^k) / [(n - k)!] \}.$$

Итак, в общем случае существует близкая к единице, но не совпадающая с ней, вероятность того, что автоматическим линиям будет нужна подача именно данного числа заготовок. Расчет этого числа сводится к следующей процедуре.

1. Вычисляется вероятность того, что запросы необходимости пополнения запасов отсутствуют.

2. Для различных чисел запросов, требующих пополнения запасов, вычисляются соответствующие вероятности, причем этих запросов должно быть целое число, которое принимает все значения, начиная от единицы и до числа линий, претендующих на данный запас.

3. Находятся суммы вычисленных вероятностей для всех этих чисел запросов, требующих пополнения запасов, при соблюдении условия, что найденная суммарная вероятность оказывается не меньше заданной.

4. Среди найденных сумм выбирается та, которая соответствует k^* , наименьшему числу запросов, требующих пополнения запасов. По тому, какая была эта сумма, и находится k^* — наименьшее из всех возможных k .

Среднее время существования таких запросов $T_{\text{ср}}$ составит $k^* t_{\text{ср}}$, где $t_{\text{ср}}$ — среднее время пребывания в системе запасов одного запроса. Для $t_{\text{ср}}$ известно следующее выражение:

$$t_{\text{ср}} = (1/\mu)[n/(1 - P_0) - 1/\rho].$$

Вероятность того, что выбранное фиксированное значение величины страхового запаса $V_{\text{ср}}$ окажется больше, чем q (число поступивших за среднее время $T_{\text{ср}}$ запросов на пополнение запаса) записывается следующим образом:

$$P(V_{\text{ср}} \geq q) = \sum_{j=0}^V \varphi(j, \lambda, T_{\text{ср}}),$$

где j принимает все возможные целые значения от 0 до n .

Функция распределения φ протабулирована для различных значений q и $a = \lambda T_{\text{ср}}$. Таблицы $\varphi(q, a)$ приводятся во многих литературных источниках, относящихся к вероятностным расчетам.

Для определения минимальной величины страхового запаса следует иметь это в виду, и тогда определение этого запаса сводится к следующему.

1. Из таблиц вероятностных расчетов для данных значений λ и $T_{\text{ср}}$ выписываем ряд значений функции φ при j , принимающей все возможные целые значения от 0 до n .

2. Суммируем все выписанные значения функции φ .

3. Из полученных сумм отбираем те, которые оказываются не меньше заданной вероятности того, что данный страховой запас не будет превышен.

4. Среди отобранных сумм выделяем ту, для которой страховой запас будет наименьшим. Его и следует считать искомым.

Указанные вероятностные расчеты были выполнены с помощью компьютерной программы для различных значений числа n автоматических линий, потребляющих один и тот же запас, и для различных значений интенсивностей запросов от этих автоматических линий λ и фактических поставок μ . Результаты этих расчетов, связывающие суммарную величину страхового и рабочего запасов ($V_{\text{стр}} + V_p$) с их отношением ($V_{\text{стр}}/V_p$), приведены в виде графиков на рис. 5.7.

Следует отметить следующие обстоятельства.

Первое заключается в том, что эти достаточно сложные вероятностные расчеты не нужно производить каждый раз при организации запасов, используемых автоматическими линиями.

Второе заключается в том, что, строго говоря, создание страхового запаса, как бы велик он ни был, не дает стопроцентной гарантии от возникновения дефицита, пусть и кратковременного. Однако практически создание страхового запаса обеспечивает уверенную работу своей автоматической линии.

Рассматривая графики, приведенные на рис. 5.7, можно заметить, что, начиная от $V_{\text{стр}}/V_p \approx 1,0$, эти графики представляют собой линии, мало отклоняющиеся от прямых, параллельных горизонтальной оси координат. Это значит, что при различных соотношениях между $V_{\text{стр}}$ и V_p , начиная с их равенства, не происходит заметного изменения суммарного объема страхового и рабочего запасов. Следует принять во внимание, что в процессе

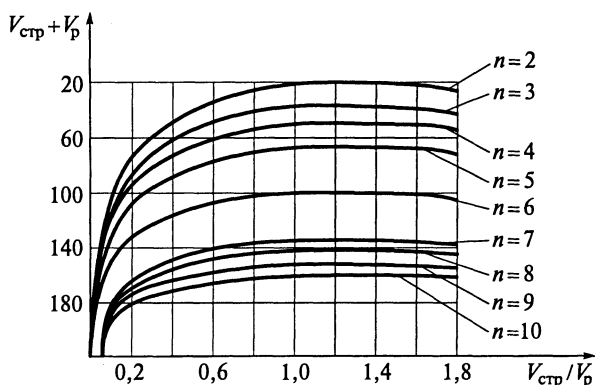


Рис. 5.7. Соотношения между рабочим и страховым запасами

эксплуатации автоматической линии страховой и рабочий запасы меняются местами, т.е. при достижении в бывшем рабочем запасе предельного уровня автоматическая линия переключается на питание от бывшего страхового запаса, а поставки заготовок производятся только для пополнения бывшего рабочего запаса, становящегося в таком случае страховым. Значит, система запасов, предусматривающая наличие наряду с рабочим также и страхового запаса, должна быть организована симметричным образом, рабочий и страховой запасы должны быть равны между собой.

Этот принцип кладется в основу *двухбункерной системы питания автоматической линии*. На входе линии создаются действительно два бункера, предназначенные один исключительно для страхового, а другой — исключительно для рабочего запаса. При эксплуатации линия переключается с питания от одного бункера на питание от другого бункера. Подобные бункеры могут создаваться в виде самостоятельных конструктивных узлов, а могут представлять собой виртуальные устройства, например зоны одного и того же склада-накопителя стеллажного типа. Идея организации двухбункерных систем оказалась весьма плодотворной и широко применяется в современном машиностроении не только для запасов заготовок для автоматических линий, но и при организации инструментального хозяйства, подаче деталей и сборочных единиц на сборку, реализации межцеховых связей, осуществлении транспортировки и создании различного рода выходных запасов.

5.8. Конструкции складских устройств для организации зон запасов

Для бесперебойной работы такого высокопроизводительного оборудования, как современные автоматические линии, необходимо создание материальных запасов и управление ими. Такие запасы служат интерфейсами между данной автоматической линией и окружающей ее производственно-экономической средой. Такие запасы могут быть *внутренними*, служащими для связи линии с различными службами данного производства, и *внешними*, служащими для связи линии с окружающей данное производство рыночной средой.

Технически движение материальных потоков между современной линией и окружающей ее производственно-экономической средой, включая создание необходимых материальных запасов, осуществляется с помощью автоматизированных систем складирования, строящихся на базе различных устройств, объединяемых общим названием «*склады*».

Современный склад представляет собой сложное инженерное сооружение, характеризующееся высокой степенью автоматизации и компьютеризации и встроенное в состав всей производственно-сбытовой системы таким образом, чтобы обеспечить эффективность ее функционирования в целом. На современных складах наряду с традиционными выполняются также и новые виды погрузочно-разгрузочных операций по размещению, хранению, поиску и доставке грузоединиц, а также сортировочные, комплекточные и некоторые специфические виды технологических операций. В настоящее время речь может идти о создании во всей производственно-сбытовой цепи единого *складского хозяйства*.

Одним из простейших вариантов построения складского хозяйства является *разветвленная* структура складирования. Для нее характерно то, что один какой-либо пункт накопления служит складом-источником для нескольких других пунктов накопления.

Дальнейшим развитием разветвленной структуры складирования является *эшелонированная* система складирования. Для эшелонированной системы складирования характерно построение по *иерархическому* принципу. Это значит, что такая система складирования состоит из нескольких уровней (стратов), между которыми существуют отношения власти и подчинения. Связи в эшелонированной системе складирования существуют только между соседними уровнями. Заявки от технологического оборудования поступают только на склады подразделений, пополнение же запасов складов может происходить только из складов близлежащего вышестоящего уровня. Заметим, что именно при использовании эшелонированной системы складирования оказывается достаточно простым использование различных вариантов двухбункерных систем.

В настоящее время создание высокоавтоматизированных и компьютеризированных складов стало возможным благодаря все более расширяющемуся применению *унифицированной тары*. Именно применение унифицированной тары повышает качество хранения запасов на складах, а также эффективность их размещения и поиска и позволяет повысить уровень механизации и автоматизации операций складирования. Следует заметить, что наряду с использованием унифицированной тары, особенно на выходных складах, часто применяют операции *пакетирования*. Операция пакетирования представляет собой образование на том или ином поддоне целостной грузовой единицы путем связывания груза и этого поддона.

Классификация современной унифицированной тары приведена на рис. 5.8.

Конструкции современных устройств складирования во все большей степени ориентируются на применение *контейнерной* обработки.

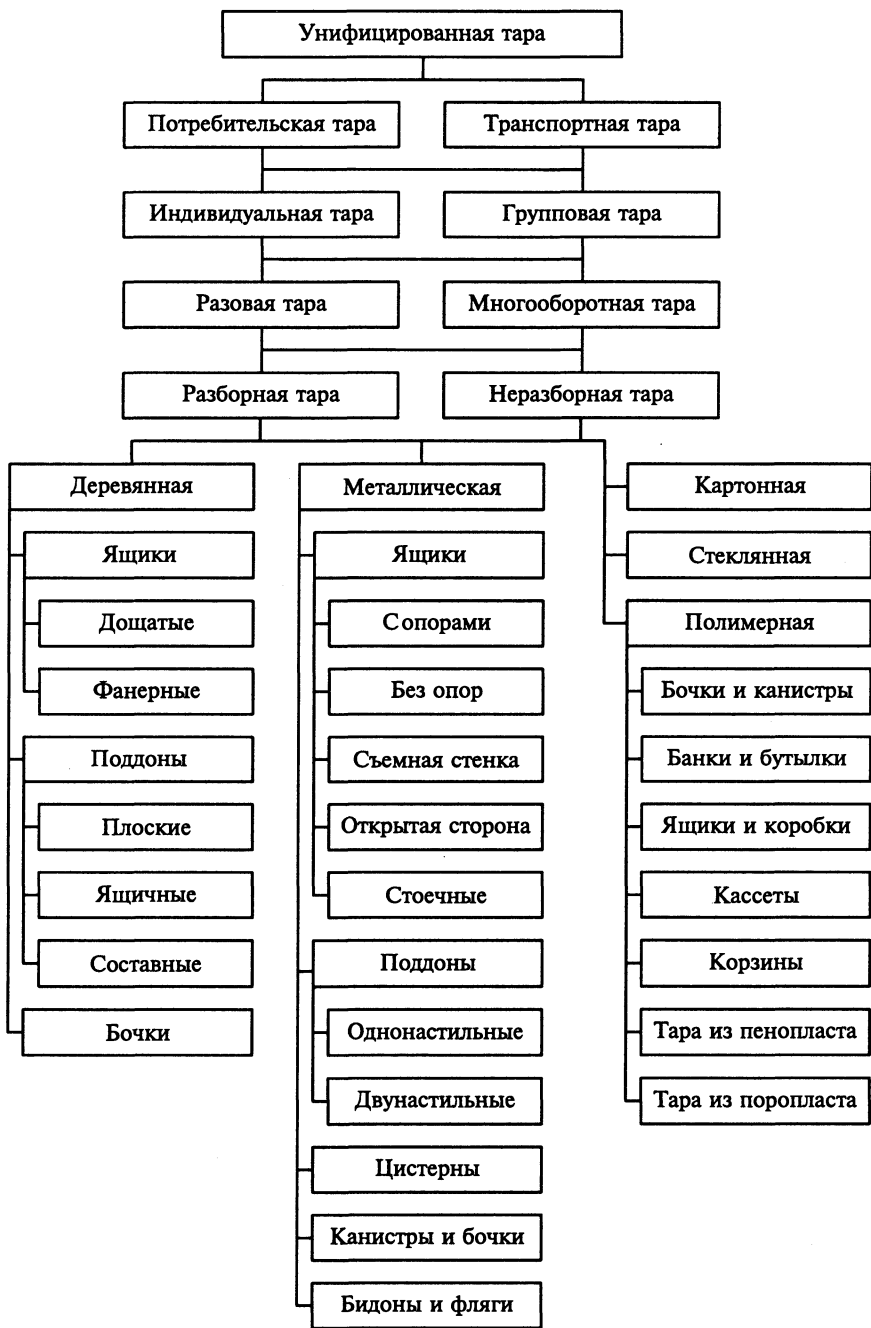


Рис. 5.8. Унифицированная тара для операций складирования

Согласно определению международной организации по стандартизации (ИСО) *контейнер* — это элемент транспортного оборудования, многократно используемый на одном или нескольких видах транспорта, предназначенный для перевозки и временного хранения грузов, оборудованный приспособлениями для механизированной установки и снятия его с транспортных средств, имеющий постоянную техническую характеристику и вместимость не менее 1 м³.

Контейнеры, пригодные для любого типа продукции, называются *универсальными*, а пригодные только для одного типоразмера продукции — *специальными*.

Главное в контейнере — это не зависящая от его конструкции, материала и назначения унификация его габаритных размеров, дверных проемов и фитингов для закрепления строп, позволяющая унифицировать операции по его транспортировке и складированию.

Таким образом, контейнеры при выполнении транспортно-складских операций выполняют ту же роль, что приспособления-спутники при выполнении операций механической обработки.

В зависимости от характера грузоединиц, образующих различные запасы, применяются различные конструкции устройств для размещения, хранения, поиска и выдачи этих грузоединиц. Соответствующая классификация таких устройств приведена на рис. 5.9.

Подобные устройства вместе с оборудованием механизации и автоматизации различных складских операций размещаются на соответствующих *складских площадях*, к которым относятся:

- полезная площадь склада, используемая непосредственно тем видом изделий, для которых и предназначен данный склад;
- приемочная площадь, используемая для выполнения приемочных и отпускных операций;
- служебная площадь, используемая для размещения офиса и управленческого персонала;
- вспомогательная площадь, включающая в себя проходы и проезды, определяемые типоразмерами грузоединиц, а также видом и конструкцией используемых средств автоматизации и механизации.

При определении суммарной общей площади проектируемого склада необходимо удостовериться, находится ли полезная площадь в пределах той доли от общей площади, которая допустима для данного вида складов.

Эта доля обычно составляет:

для складов комплектующих изделий	0,35...0,4
для складов металлопроката	0,25...0,5
для складов литья, поковок и штамповок	0,4...0,6
для складов готовых изделий	0,35...0,6



Рис. 5.9. Устройства для складирования твердых грузов

Неотъемлемой частью проектирования склада является выбор соответствующего *подъемно-транспортного оборудования*. Специального проектирования подобных устройств при этом, как правило, не производится вследствие высокого уровня унификации, достигнутого как в конструкции этих устройств, так и в способах затаривания и складирования грузоединиц. Проектанту требуется лишь определить типоразмеры применяемых подъемно-транспортных устройств и их необходимое число.

Основные типы подъемно-транспортных устройств, применяемых для механизации и автоматизации складов, приведены в классификационной схеме на рис. 5.10.

С точки зрения управления складированием основными определяющими элементами являются уровень иерархии, на котором осуществляется управление, степень децентрализации системы складирования, а также ее строение.

Самым простым с точки зрения построения является такая система складирования, которая состоит из отдельных одностип-

ных и не связанных между собой структурных элементов. Подобная система обладает наибольшей живучестью, однако способна применяться лишь там, где решаются задачи, не требующие взаимной координации.

Следующим этапом в построении складских систем является их компоновка из функционально ориентированных и специализированных структурных элементов. При этом в состав такой системы должен быть обязательно включен специальный элемент-координатор, обеспечивающий согласованное функционирование специализированных структурных элементов. Такие системы складирования характеризуются более высоким уровнем эффективности, но их живучесть однозначно определяется живучестью элемента-координатора.

В настоящее время известны и применяются следующие типы структур компьютерных систем управления складами:

- линейная;
- линейно-централизованная;
- радиальная;
- сетевая.

Заслуживают внимания применяемые для управления складами *контроллеры нижних уровней*. Под этим понятием имеется в виду в той или иной мере использующие компьютерные средства технические устройства или совокупности этих устройств, которые непосредственно взаимодействуют с управляемым объектом. Такое взаимодействие может осуществляться как с автоматическим складом и его оборудованием, так и с персоналом. В качестве контроллеров нижних уровней часто применяются программируемые логические контроллеры. Будучи универсальными устройствами,

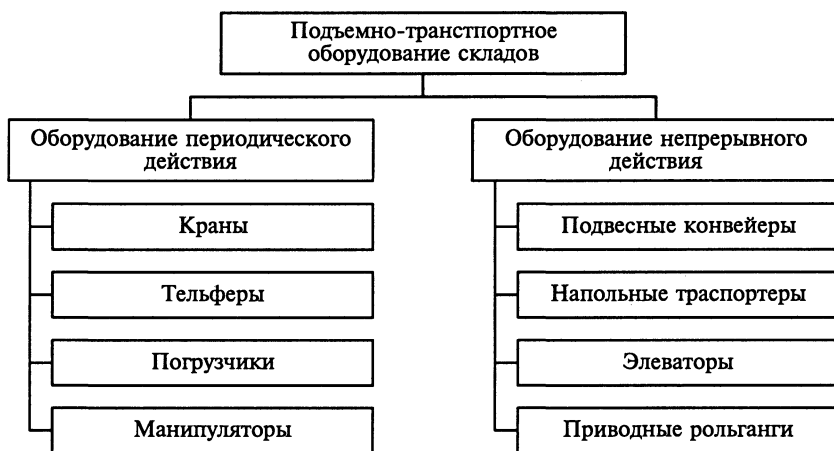


Рис. 5.10. Типы подъемно-транспортных устройств складов

такие программируемые логические контроллеры могут быть силами пользователя «привязаны» к конкретному складу.

5.9. Инвестирование и риски при создании и эксплуатации автоматических линий

Инвестиция — это долгосрочное вложение частного или государственного капитала, имущественных или интеллектуальных ценностей в различные отрасли национальной, если речь идет о внутренних инвестициях, либо зарубежной, если речь идет о зарубежных инвестициях, экономики с целью получения в будущем соответствующих прибылей. Иными словами, средства нужно тратить сегодня в надежде на прибыль в будущем. Инвестиционный процесс — это сложный комплекс работ, включающий в себя такие основные фазы, как поиск и изучение объекта инвестирования, финансирование капитальных вложений и контроль за их использованием.

Применительно к организации обработки новых изделий машиностроения с помощью автоматических линий имеются два возможных подхода.

Первый из этих подходов заключается в том, чтобы выпускать новое изделие на существующем оборудовании, проведя его необходимую переналадку и модернизацию.

Второй подход заключается в том, чтобы спроектировать и изготовить новую линию, изначально предназначенную для выпуска изделий новой номенклатуры.

Если вновь создаваемые линии изначально проектировать гибкими переналаживаемыми с расчетом на выпуск на них новых изделий, то первоначальные капитальные вложения в их проектирование и изготовление оказываются особенно высокими, поскольку для проектирования таких линий целесообразно проводить дополнительную работу по изучению тенденций развития технических характеристик изделий, для изготовления которых и создаются эти автоматические линии.

Следовательно, для того чтобы вновь создаваемые линии изначально проектировать гибкими переналаживаемыми с расчетом на выпуск на них новых изделий, необходимо прогнозировать технические требования на перспективные изделия, которые за время эксплуатации данной линии придется на ней выпускать.

Если же выпускать новое изделие на уже существующей автоматической линии, производя по мере надобности ее модернизацию и переналадку, то необходимости в таком прогнозе нет.

Любые прогнозы на более или менее длительный период могут оказаться неточными или даже ошибочными, поскольку они зависят от многих неопределенных факторов, которые за это время

могут существенным образом измениться. Поэтому всякий учет каких бы то ни было прогнозов без привлечения того, что принято называть «здравым смыслом», сопряжен с определенным риском.

Для принятия решения о целесообразности того или иного варианта проектирования автоматической линии следует руководствоваться нормой прибыли.

В данном случае норма прибыли отражает степень доходности рассматриваемого варианта проектирования автоматической линии. Она рассчитывается как отношение прибыли за планируемый срок эксплуатации данной автоматической линии к общему объему инвестиционных затрат, произведенных за этот же промежуток времени.

В деятельности предприятия в условиях рыночной системы хозяйствования принято различать *бухгалтерские* и *предпринимательские издержки*. Предпринимательские издержки называют также экономическими.

Бухгалтерские издержки относятся на себестоимость продукции, и данные о них могут быть почерпнуты из бухгалтерских документов. Практически, однако, для ведения любой производственно-сбытовой деятельности необходимо нести большие по величине издержки, которые и называются предпринимательскими или экономическими. Предпринимательские издержки включают в себя бухгалтерские издержки в полном объеме, а сверх них также и предпринимательскую прибыль, налог на добавленную стоимость (НДС) и все виды акцизов, таможенные пошлины на используемые экспортные товары и, главное, издержки, сводящиеся к денежному ущербу, обусловленному упущенными возможностями.

Издержки, сводящиеся к денежному ущербу, обусловленному упущенными возможностями, принято также называть *альтернативными издержками* именно потому, что они соответствуют выбору альтернативного варианта вложения средств, при котором эти возможности не были бы упущены. Их также называют *вмененными издержками*.

Соответственно можно говорить о бухгалтерской норме прибыли и об экономической норме прибыли. При анализе деятельности того или иного производства в условиях риска обычно говорят именно об экономической норме прибыли.

Естественно, что поскольку экономические издержки всегда больше бухгалтерских, то при прочих равных условиях бухгалтерская прибыль всегда больше экономической. Производство, рентабельное с бухгалтерской точки зрения, может оказаться нерентабельным с экономической точки зрения.

Если выпускать новые изделия на гибкой переналаживаемой линии, которая изначально проектировалась для возможности

выпуска изделий новой номенклатуры, то наиболее значительные капиталовложения потребуются на этапе проектирования и создания такой гибкой переналаживаемой автоматической линии, а последующие расходы на эксплуатацию и переналадку линии остаются на обычном уровне. В результате гибкая переналаживаемая автоматическая линия изначально оказывается довольно дорогой, поскольку в ее стоимость включаются затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, а также дополнительные расходы на изготовление подобной линии, но это должно компенсироваться на этапе ее эксплуатации.

Если выпускать новое изделие на уже существующей автоматической линии, производя по мере надобности ее модернизацию и переналадку, то приходится, осуществляя такую модернизацию и переналадку, многократно в течение всего срока эксплуатации данной линии идти на значительные капиталовложения, тогда как последующие эксплуатационные расходы оказываются менее значительными.

Для прогнозирования технических требований на перспективные изделия, которые за время эксплуатации данной линии придется на ней выпускать, обычно используются статистические данные по аналогичным параметрам за прошлые годы. Это называется экстраполированием значений параметров изделий, выпускавшихся в прошлом, на будущее. Например, для обработки блока цилиндров автомобильных двигателей отмечается общая тенденция постоянного ужесточения требований к точностным характеристикам.

Статистические, а не физические или эконометрические модели, применяют в данном случае вследствие практической невозможности формализации тенденций изменения требований к конструктивно-точностным характеристикам предполагаемых новых изделий.

Статистические модели не гарантируют стопроцентной точности прогнозирования. Практически статистическая неопределенность подобного подхода выражается в завышении или занижении требований, необходимость удовлетворения которых «закладывается» в автоматическую линию на этапе ее проектирования и изготовления.

Очевидно, если требования к конструктивно-точностным характеристикам предполагаемых новых изделий будут завышены, то существует опасность того, что возможности проектируемой и создаваемой новой автоматической линии не будут в полной мере востребованы. Кроме того, разработка и изготовление автоматической линии в этом случае обойдутся дороже. Значит, фактический срок окупаемости данной автоматической линии в таком случае может оказаться большим запланированного. Вместе с тем данную линию оказывается возможным эксплуатировать и дол-

ше запланированного срока. Если же требования к конструктивно-точностным характеристикам предполагаемых новых изделий были занижены, то существует опасность того, что спроектированные и изготовленные с учетом этих требований автоматические линии уже в период запланированного эффективного срока службы окажутся непригодными для обработки новых изделий. В этих условиях потребуются остановка всего производства из-за «некачественной» продукции данной линии.

Проектанты автоматических линий считают, что занижение требований ведет к более тяжелым последствиям, чем их завышение.

При проектировании и изготовлении автоматических линий особое внимание следует обратить на «риски развития». Эти риски связаны главным образом с тем, что производственные издержки необходимо в максимально возможной степени сокращать. Именно этим определяется необходимость замены устаревающих средств производства, проведения тех или иных организационных мероприятий, обновления ассортимента продукции.

Однако подобная деятельность неизбежно сопряжена с рисками, в основном, сводящимися к следующему:

- достижения научно-технического прогресса (НТП) могут снизить или даже свести на нет эффект от вложений, которые были сделаны ранее;

- появляются новые, ранее неизвестные конкуренты, которые могут иметь такие же или даже еще более низкие производственные издержки;

- стремление сохранять неизменность номенклатуры выпускаемой продукции может помешать осознанию необходимости ее обновления;

- может произойти инфляционный рост производственных издержек.

Компании, замедлившей темпы своего развития, следует снизить свои производственные издержки, имея целью завладеть большей долей рынка. Она может также сосредоточить свои усилия на одной какой-либо особенности производимой продукции с целью достичь ее определенной уникальности. Это, наоборот, может привести к сокращению доли компании на рынке и даже иногда к сокращению объема продаж, но обязательно должно вести к увеличению общей массы получаемой ею прибыли. Следует заметить, что все реальные и предполагаемые платежи должны быть приведены к настоящему времени или, как говорят, дисконтированы (от английского слова *discount*, что означает «пересчет»). Деньги, уплаченные сегодня, оказывается, не равны той же сумме, уплаченной завтра. Суть здесь вовсе не в инфляционных процессах. Дело в том, что, откладывая плату за изделие, потребитель в течение некоторого времени оказывается владельцем как изде-

лия, так и денег. Эти деньги он может использовать по своему усмотрению, например положить в банк под проценты.

Для оценки коммерческой эффективности всякого проекта, в том числе и автоматической линии, можно применять следующие показатели:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД), определяемый как просуммированное по всей продолжительности жизненного цикла проекта превышение выручки над затратами, пересчитанное с учетом коэффициента дисконтирования за вычетом капитальных вложений;

- индекс доходности, являющийся отношением величины чистого дисконтированного дохода к величине капитальных вложений;

- внутренняя норма доходности — это предельное фактическое значение нормы дисконтирования, при которой суммарное превышение выручки над затратами, пересчитанное с учетом принятой нормы дисконтирования, оказывается равным произведенным капитальным затратам.

Кроме возможности денежного ущерба или убытков в прямом смысле этого слова, существует опасность того, что предполагаемая удача или же намеченная величина прибыли не будут достигнуты. Фактических потерь здесь не произойдет, но существует возможность разочарования.

Поэтому в более широком смысле под риском в данном случае следует понимать все то, что может привести к незапланированному результату или неблагоприятным последствиям. Неблагоприятные последствия следует понимать в широком смысле, а именно как упущенную возможность получения дополнительной выгоды.

Всякий осторожный деятель, воздерживаясь от решений, не апробированных в прошлом, рискует тем, что упускает возможность получения дополнительной выгоды.

Контрольные вопросы

1. Какие автоматические линии в машиностроении подразделяют по технологическому признаку?

2. Что характерно для роторных и роторно-конвейерных линий и где они до настоящего времени нашли свое применение?

3. Когда на автоматических линиях в машиностроении применяется беспутниковая, а когда спутниковая обработка?

4. Что называется автоматической линией с жесткой связью, а что — автоматической линией с гибкой связью?

5. Что называется переналаживаемой, а что — непереналаживаемой автоматической линией?

6. Что называется гибкой в полном смысле этого слова переналаживаемой автоматической линией?

7. Что такое конструкционная, технологическая и структурная гибкость автоматической линии, ее операционная гибкость и гибкость по объему выпуска?
8. Что является источником информации на автоматических линиях в машиностроении?
9. Какие узлы автоматических линий машиностроения унифицированы к настоящему времени?
10. На какие разновидности подразделяются транспортные устройства современных автоматических линий машиностроения?
11. Что представляют собой «закрытые» технологические семейства деталей?
12. Что нужно сделать на переналаживаемой автоматической линии, чтобы перейти к обработке детали другого наименования?
13. Какие требования предъявляются к современным погрузочно-разгрузочным устройствам автоматических линий в машиностроении?
14. Какие существуют компоновки современных систем «погрузочно-разгрузочные устройства — станок»?
15. Какие функции при погрузке-разгрузке заготовок и полуфабрикатов выполняют современные промышленные роботы?
16. Каковы общие требования к деталям, загружаемым с помощью промышленных роботов?
17. Какова последовательность действий при определении целесообразности обработки новой детали на существующей переналаживаемой автоматической линии?
18. Как следует определять объем запускаемой партии при обработке на переналаживаемой автоматической линии?
19. Каким образом можно определить последовательность запуска в обработку деталей на переналаживаемой автоматической линии?
20. Какие существуют разновидности межоперационных заделов по всей автоматической линии и как они определяются?
21. Для чего на входах и выходах современной автоматической линии должны создаваться запасы?
22. Какое должно существовать соотношение между величинами рабочего и страхового запасов?
23. Что такое двухбункерная система питания автоматической линии?
24. Что такое разветвленная, а что такое эшелонированная структура складирования?
25. Что такое контейнерная обработка при складировании?
26. В чем заключаются «риски развития» при проектировании и изготовлении автоматических линий?
27. Что такое дисконтирование?

МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ОБРАБОТКИ И СБОРКИ

6.1. Открытые технологические семейства деталей и типовые гибкие комплексы

Ранее рассмотренные детали машиностроения относились к закрытым технологическим семействам, отличающимся высокой степенью конструктивного и технологического подобия. Это позволяло использовать одно и то же технологическое оборудование, объединенное в производственные комплексы с одними и теми же рабочими позициями, объединенными в одной и той же или аналогичной последовательности, что и приводило к созданию и применению автоматических линий различной степени гибкости и переналаживаемости.

Между тем 70...75 % всех деталей машиностроения относятся к открытым семействам, не обладающим этими качествами. Примером могут служить разнообразные детали, изготавливаемые в механических цехах мелких серий. Такие детали имеют тенденцию со временем стать преобладающими, особенно при работе в условиях рыночной экономики и расширения позаказного изготовления. С целью автоматизации производства открытых семейств деталей и создаются автоматизированные гибкие станочные комплексы для многономенклатурной обработки и сборки, характеризующиеся различным масштабом. В производствах, построенных по принципу автоматических линий, для перехода к обработке новой детали поток требуется остановить. Следовательно, в таких производствах в каждый момент времени может находиться в обработке деталь только одного наименования. В комплексах для многономенклатурной обработки и сборки такая остановка не требуется и в обработке одновременно находятся детали нескольких наименований. В традиционных автоматических линиях маршрут перемещения обрабатываемой детали определяется уже на этапе проектирования и задается порядком расположения оборудования, а в комплексах для многономенклатурной обработки и сборки маршрут перемещения обрабатываемой детали может быть любым. Этот маршрут определяется не расстановкой оборудования при проектировании, а плановыми документами, разрабатываемыми внутри этого комплекса и для него при его эксплу-

атации. Говорят, что в автоматических линиях деталь перемещается по принципу «станок — станок», а в гибких комплексах для многономенклатурной обработки и сборки деталь перемещается по принципу «станок — склад — станок», т. е. по любому возможному маршруту, причем допускается возможность его прерывания. Это значит, что партия деталей, прошедших первые операции технологического маршрута в начале месяца, может быть передана на склад, где она будет находиться до конца месяца, дожидаясь выполнения остальных операций технологического маршрута.

Гибкий комплекс для многономенклатурной обработки и сборки представляет собой набор быстро переналаживаемых станков с ЧПУ, связанных автоматизированными адресуемыми транспортно-складскими устройствами, и объединенный с ними в единую производственную систему общей системой управления, обычно многоуровневой иерархической в большей или меньшей степени компьютеризированной.

Таким образом, техническими предпосылками создания гибких комплексов для многономенклатурной обработки и сборки являются:

- появление быстропереналаживаемого оборудования с ЧПУ;
- появление адресуемых автоматизированных транспортно-складских систем (АТСС);
- появление относительно дешевых и надежных компьютерных средств и систем автоматизации, способных работать в производственных условиях.

В зависимости от масштаба различают гибкие производственные модули (ГПМ), гибкие автоматизированные участки (ГАУ), гибкие автоматизированные цехи (ГАЦ), гибкие автоматизированные производства (ГАП) и гибкие автоматизированные заводы (ГАЗ).

Гибкие производственные модули предназначены для выполнения всего объема работ на одной рабочей позиции в условиях полной автоматизации всего производственного процесса. Это значит, что наряду с рабочими автоматизируются также и вспомогательные операции, такие как накопление заготовок и их хранение, определение начала обработки, выбор и подача в зону обработки и возвращение после выполнения этой обработки, поиск и смена инструментов, а также операции, связанные с измерением и подналадкой. Обычно такие модули используются в единичном и мелкосерийном производствах.

В гибких автоматизированных участках несколько гибких производственных модулей, а также и других рабочих позиций, объединяются в единый производственный комплекс. Различия в длительностях обработки на различных позициях здесь сглаживаются благодаря наличию локальных или центральных складов-накопителей. Подобные участки обычно используют в производствах с

характером выпуска от мелко- до крупносерийного. Управление подобным участком осуществляется из единого для всего оборудования участка диспетчерского отделения, расположенного, как правило, на самом этом участке. Такие автоматизированные участки могут также использоваться в качестве базовых элементов для построения автоматизированных цехов, производств и заводов. Заметим, что большая часть реализованных к настоящему времени комплексов для многономенклатурной обработки и сборки ориентирована на обработку деталей примерно 10 наименований и лишь немногие из них ориентированы на обработку деталей более 200 наименований.

Увязка такого разнородного оборудования, как станки и транспортно-складские системы, в единый производственный комплекс и осуществляется системой управления этого комплекса. Функции управления таким комплексом в зависимости от степени автоматизации производственного процесса могут быть различными. Однако все эти функции управления должны выполняться. При высокой степени автоматизации большая часть их выполняется компьютерной системой, а остальные — персоналом. При невысокой степени автоматизации это соотношение будет обратным.

Характерный пример производственного гибкого комплекса для многономенклатурной механической обработки деталей схематически изображен на рис. 6.1. В соответствии с этой схемой такой комплекс функционирует следующим образом.

Заготовки в тарах поступают на входные роликовые конвейеры 1 и с помощью крана-штабелера 3 раскладываются по ячейкам стеллажа 2 центрального склада-накопителя. В изображенном на рис. 6.1 случае число рядов этих стеллажей для конкретности равняется четырем, хотя оно может быть любым. Соответственно число кранов-штабелеров равняется двум для обслуживания каждым краном-штабелером двух рядов стеллажей. Затем тары с заготовками из стеллажей подаются этими кранами-штабелерами на выход стеллажного склада и распределяются кареткой 4 по позициям склада 5 с целью последующей сборки. На рабочих позициях сборки-разборки 6 слесарь-сборщик устанавливает доставленные заготовки на приспособления-спутники, которые, в свою очередь, доставлены кареткой 7 из накопителя этих приспособлений-спутников 8, а затем эти приспособления-спутники вместе с установленными на них заготовками возвращаются на этот накопитель.

Обработанные детали слесарь-сборщик по мере доставки приспособлений-спутников снимает с них, и эти обработанные детали возвращаются в обратном порядке через позиции 5 на стеллажи. Приспособления-спутники вместе с установленными на них заготовками кареткой 7 по мере поступления на них запросов до-

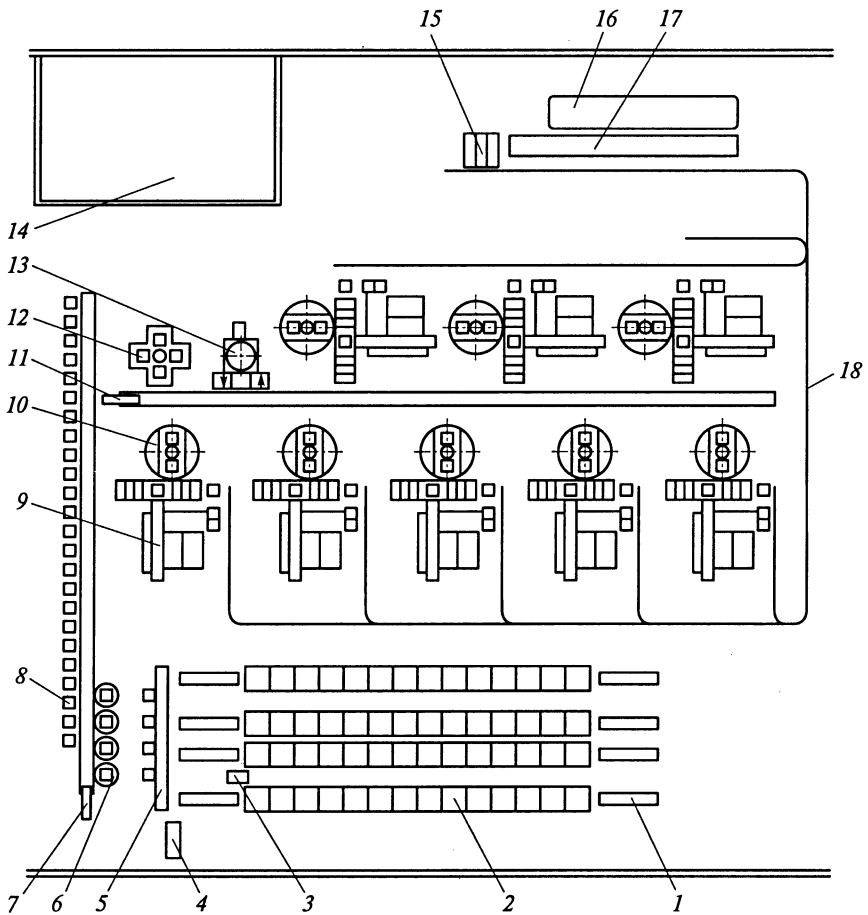


Рис. 6.1. Компонка функционально полного гибкого комплекса:

1 — входные роликовые конвейеры; 2 — стеллаж; 3 — кран-штабелер; 4 — каретка склада; 5 — позиции склада; 6 — позиции сборки-разборки; 7 — каретка сборки-разборки; 8 — накопитель спутников; 9 — обрабатывающие центры; 10 — механизмы смены спутников; 11 — каретка обрабатывающих центров; 12 — поворотный стол; 13 — контрольно-измерительная позиция; 14 — центр управления; 15 — позиция сборки-разборки инструментальных комплектов; 16 — инструментальный склад; 17 — промежуточный накопитель; 18 — трасса

ставляются из накопителя 8 к поворотному столу 12, откуда кареткой 11 распределяются по механизмам 10 смены приспособлений-спутников обрабатывающих центров 9.

Инструмент, хранящийся в автоматизированном инструментальном складе 16, по мере поступления на него запросов подается на позиции 15 сборки инструментальных комплектов. Там сле-

сарь-инструментальщик выполняет сборку и юстировку этих инструментальных комплектов, а также распределяет их по позициям промежуточного накопителя 17 инструментальных комплектов. Инструментальные комплекты из этого накопителя с помощью робототележек автоматизированной транспортной системы по трассе 18 доставляются к обрабатывающим центрам 9. Обработанные детали вместе с приспособлениями-спутниками подаются с помощью каретки обрабатывающих центров 11 на контрольно-измерительную позицию 13, а с нее поступают на локальный буферный накопитель 8. Дальнейший маршрут этих деталей уже описывался. Управление всем оборудованием комплекса осуществляется из единого центра управления 14. Отметим, что схема, представленная на рис. 6.1, является упрощенной. На ней не показано различного рода вспомогательное оборудование, обязательно присутствующее на реальных автоматизированных участках, такое как моечные машины, разметочные устройства, агрегаты для очистки от стружки, установки для подготовки баз, системы сбора и удаления стружки, системы подачи свежей и отвода отработанной смазывающе-охлаждающей жидкости и др. Употреблявшееся в приведенном описании понятие «трасса маршрута» требует соответствующих пояснений.

Это действительно трасса, по которой может двигаться данное транспортное средство. Ее простейшим примером является рельсовый путь. Однако рельсовые пути затрудняют движение по площади, занимаемой комплексом, а также ограничивают его гибкость и способность к модернизации и развитию. Более современным способом удержания транспортного средства на трассе является использование индуктивного наведения. При индуктивном удержании транспортного средства на трассе под поверхностью гладкого пола, обычно заливаемого эпоксидной смолой, на глубине порядка нескольких сантиметров закладывается кабель, запитываемый частотой от 400 Гц до 10 кГц. На борту удерживаемого на трассе транспортного средства по обеим сторонам этого кабеля устанавливаются катушки индуктивности, которые вместе с подсоединенными к ним конденсаторами образуют контуры, настроенные на частоту тока, протекающего по кабелю наведения. При нарушении симметрии расположения транспортного средства относительно этого кабеля напряжения, индуцируемые в упомянутых катушках, оказываются неравными. Эта разность напряжений используется для управления электродвигателями и ведет к устранению подобной асимметрии. В помещениях контор и на предприятиях электронной, приборостроительной и других производств, характеризующихся высокой гигиеной помещений, применяется также система фотоэлектрического удержания транспортного средства на трассе, когда эта трасса просто изображается полосой, нанесенной белой краской на пол.

Программа движения транспортного средства по трассе задается в виде вводимой в память его бортового управляющего устройства через бесконтактный индуктивный разъем или через контактный разъем с мощными ловителями последовательности кодов ветвлений, станций адресации, а также признаков движения «вперед-назад», «налево-направо», «стоп», движения до поворота на заданное расстояние и др. Таким образом обеспечивается доставка грузоединицы к заданному пункту на трассе.

Работа подобных комплексов многономенклатурной обработки и сборки основана на использовании, в отличие от традиционных АСУП, соответствующих средств компьютерной техники непосредственно в контуре управления технологическим оборудованием. При этом средства компьютеризации обычно располагаются вблизи от комплексов автоматизируемого оборудования.

К числу задач, решаемых при создании компьютерных систем управления подобными комплексами, относятся:

- разработка организации производственного процесса применительно к данному комплексу оборудования и программы выпуска, ориентированной на его последующую автоматизацию с применением компьютерной техники;
- определение рациональной степени автоматизации функций управления и их распределения между компьютерными устройствами и персоналом;
- установление соответствующих взаимосвязей проектируемой системы автоматизации с другими службами предприятия, а также с руководством;
- определение и структурирование информационных потоков управления, а также форм и организации внутреннего и внешнего документооборотов рассматриваемого комплекса;
- выбор базовых компьютерных устройств, включая и периферийные устройства, а также их структурирование;
- создание в случае необходимости специальных аппаратурных средств;
- создание алгоритмов, принципов организации вычислительного процесса, выбор операционных систем и других программных средств, разработка пакетов прикладных программ, формирование и ведение банка технологических данных;
- разработка принципов и методики обработки аварийных и нестандартных ситуаций;
- разработка методики комплексной отладки и тестирования создаваемой системы;
- определение критериев качества и методик оценки эффективности создаваемой системы.

Наибольший интерес с точки зрения перечисленных задач представляют именно автоматизированные участки, поскольку управление на общецеховом и общезаводском уровнях обычно сводит-

ся к традиционным функциям АСУП. Создание же систем компьютерного управления автоматизированными участками представляет собой длительный и трудоемкий процесс, носящий в высшей степени творческий характер.

6.2. Функции и структура системы управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки

Объединение оборудования для многономенклатурной обработки и сборки в единую совокупность и автоматизация соответствующего производственного процесса осуществляется человеком-машинным комплексом, включающим необходимые аппаратные и программные средства вычислительной техники и называемым *автоматизированной системой управления (АСУ)* рассматриваемой совокупности.

Функции системы управления. С точки зрения организации управления производственным процессом все оборудование производственного участка целесообразно подразделять на группы. Каждая группа представляет собой совокупность конструктивно различных устройств, образующих с технологической точки зрения одну неделимую единицу. Можно говорить о группе рабочей позиции, представляющей собой станок вместе с устройствами околостаночной механизации, или о группе автоматизированного транспортно-складского оборудования, состоящего из центрального склада-накопителя, горизонтального адресуемого транспорта, а также грузораспределительного оборудования (ГРО): приводных рольгангов и роликовых конвейеров, поворотных столов, подъемников, рельсовых кареток с перегрузочными устройствами и др. С точки зрения автоматизации и компьютеризации процесса управления целесообразно иметь дело с единым устройством управления, представляющим свою группу. Применительно к группам рабочих позиций подобное устройство управления так и называется *пунктом группового управления (ПГУ)*. Применительно к транспортно-складскому оборудованию такое устройство управления называется *пунктом диспетчерского управления (ПДУ)*.

Управление группами, состоящими из высокоавтоматизированного оборудования, осуществляется в автоматическом режиме от компьютеров или от компьютерной сети.

Управление группами, состоящими не из высокоавтоматизированного, а из традиционного оборудования, в том числе и одиночных станков, осуществляется в режиме «рекомендаций», т. е. в форме обеспечения персонала необходимой директивной информацией.

Автоматизация процесса управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки включает в себя три компонента:

- оперативно-организационный;
- оперативно-диспетчерский;
- оперативно-технологический.

Оперативно-организационный компонент сводится к осуществлению оперативно-календарного планирования, учету хода производства, а также к автоматизации технологической подготовки производства, включая подготовку управляющих программ для станков с ЧПУ.

Оперативно-диспетчерский компонент сводится к координации работы групп оборудования и к управлению материальными и информационными потоками.

Оперативно-технологический компонент сводится к программному управлению отдельными единицами технологического оборудования, исполнительными устройствами и средствами автоматизации, а также к взаимоувязке их циклов.

Соответствующая классификация функций управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки приведена на рис. 6.2.

Если отвлечься от функций технологической и организационной подготовки производства, которые должны быть выполнены до начала производства, то можно сказать, что функции оперативного управления производством в реальном времени решают задачи организации совместной работы групп и отдельных единиц технологического оборудования, направленной на выполнение в установленные сроки и в требуемом объеме с соблюдением заданного качества плановых заданий.

Чтобы сократить сроки и объемы необходимых разработок, следует широко применять типовые и унифицированные решения. Для обеспечения возможности использования таких решений при привязке к конкретному объекту был предложен принцип построения подобных систем, основанный на том, что алгоритмы обработки производственной информации для различных объектов остаются одними и теми же. При переходе от одного объекта автоматизации к другому изменяются лишь массивы числовых данных, характерные именно для данного объекта. Такое построение вычислительного процесса, когда числовые массивы операндов исключаются из «тела» самой программы, получило название «чистая процедура».

К каждому из перечисленных массивов должен иметься инструментальный доступ и возможность его визуализации и редактирования, вплоть до полного составления этого массива на «пустом» месте.

Структура системы управления. Между системой управления и рабочими позициями обработки в общем случае должна циркулировать входная информация следующего содержания:





Рис. 6.2. Структура функций управления комплексом многономенклатурной обработки и сборки

- данные по состоянию рабочих мест;
- сигналы от датчиков, установленных на оборудовании;
- сигналы диалога с системами локального управления по установке режимов.

Между системой управления и рабочими позициями обработки должна циркулировать выходная информация следующего содержания:

- тексты управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- сигналы и команды устройствам локального управления;
- сигналы диалога с системами локального управления по установке режимов;
- задания на последовательность выполнения рабочих операций.

Между системой управления и позициями контроля качества должна циркулировать входная информация следующего содержания:

- результаты замеров контролируемых параметров;
- информация о состоянии измерительных позиций;
- сигналы от датчиков, установленных на оборудовании контрольно-измерительных позиций.

Между системой управления и позициями контроля качества должна циркулировать выходная информация следующего содержания:

- тексты управляющих программ для контрольно-измерительного оборудования с ЧПУ;
- задания на последовательность измерений;
- сигналы для устройств локального управления контрольно-измерительных позиций.

Похожая структура обмена информацией характерна и для взаимодействия системы управления с отделениями инструментального обеспечения, а также обеспечения приспособлениями и оснасткой.

Большими по объему и включающими в себя разнообразные по содержанию информационные элементы являются потоки информации между системой управления производственным комплексом и обслуживающими этот комплекс автоматизированными транспортно-складскими системами.

Система управления комплекса должна получать от автоматизированных транспортно-складских систем входную информацию такого содержания:

- данные о состоянии устройств, входящих в автоматизированную транспортно-складскую систему;
- дифференцированная информация о размещении различных грузоединиц;
- дифференцированная информация об отсутствии различных типов грузоединиц на тех или иных позициях.

Выходная информация, посылаемая системой управления комплекса на автоматизированную транспортно-складскую систему, представляет собой директивы на поиск, взятие и направление грузоединиц по различным позициям и адресам.

Система управления комплекса многономенклатурной обработки и сборки строится по иерархическому принципу. Это повышает ее живучесть, поскольку при выходе из строя верхних уровней иерархии нижние уровни будут продолжать функционировать в пределах своей компетенции и в рамках своей автономности, хотя при этом достигается меньшая степень автоматизации производственного процесса. Следует заметить, что выход из строя нижних уровней иерархии, непосредственно взаимодействующих с технологическим оборудованием, не может быть скомпенсирован никакой дополнительной загрузкой верхних уровней иерархии, соответствующей их специализации. Однако и компетенция, и автономность нижних уровней иерархии являются ограниченными. Например, рабочие позиции в случае прекращения работы системы автоматического диспетчирования хода производства могут продолжать работать, как определяется их конструкцией и рабочими характеристиками, но лишь пока не будут обработаны заготовки, ранее установленные на их локальных накопителях. Поэтому для эффективности управления верхние уровни иерархии необходимы.

К таким иерархическим уровням, располагаемым снизу вверх, относятся:

- непосредственное управление единицами автоматического оборудования, например системы ЧПУ станков, устройства логического управления, в том числе на базе программируемых командо-контроллеров, бортовые системы управления робототележек, устройства управления адресованием транс-манипуляторов (кран-штабелеров), системы ЧПУ и устройства первичной обработки информации для контрольно-измерительных машин, устройства ЧПУ или циклового управления промышленными роботами;

- групповое управление, например пункты управления рабочими позициями обработки, пульты диспетчерского управления автоматизированными транспортно-складскими системами, пункты управления контролем качества, руководящий персонал специализированных производственных бригад;

- диспетчерское управление, осуществляемое человекомашиным комплексом, который во время производственного цикла координирует работу компонентов, относящихся к уровню группового управления;

- организационно-технологическое управление, которое готовит массивы плановых и технологических данных, необходимых для работы диспетчерского управления с их соответствующим документированием.

6.3. Информационные связи систем управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки

Всякая компьютеризованная система автоматизации осуществляет переработку поступающей на нее информации и выдает соответствующих сигналов и сообщений. Система управления производственным комплексом для многономенклатурной обработки и сборки не является в этом отношении исключением.

Все информационные потоки такой системы можно подразделить на две группы: информационные потоки, циркулирующие внутри автоматизируемого комплекса и служащие для взаимосвязей ее функциональных подсистем, и информационные потоки, служащие для связи этого комплекса с окружающей производственно-экономической средой.

Внутренние информационные взаимосвязи. Информационные потоки, циркулирующие внутри автоматизируемого комплекса между подсистемами управления и оборудованием, в условиях, когда вычислительный процесс в компьютеризованной системе управления многономенклатурными комплексами обработки и сборки строится по принципу «чистой процедуры», т.е. когда используются универсальные алгоритмы управления, а «привязка» к конкретному производственному комплексу осуществляется за счет соответствующих данному комплексу числовых массивов, схематически изображены на рис. 6.3.

Таковыми характерными для конкретного производственного комплекса числовыми массивами в качестве типовых рекомендуются следующие:

- картотека состояния центрального склада-накопителя;
- картотека состояния инструментального склада;
- модель состояния рабочих позиций;
- библиотека управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- каталог библиотеки управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- массив плановых заданий по рабочим позициям;
- массив очереди управляющих программ на выдачу на внешние устройства;
- массив списка деталей на выгрузку с данного производственного комплекса;
- массив плановых заданий на сборку и разборку инструментальных комплектов и технологической оснастки.

Система управления формирует и направляет приемникам рабочих позиций в рамках типового решения следующие информационные потоки:

- тексты управляющих программ для станков и для роботов;

- данные по корректорам, используемым для тех или иных управляющих программ;

- тестовые комбинации;
- команды «Пуск» и «Стоп».

От рабочих позиций на систему управления в рамках такого типового решения поступают следующие информационные потоки:

- сигналы готовности;
- сигналы начала и конца обработки;
- сигналы о выполнении загрузочных циклов;
- отработанные тексты управляющих программ;
- данные по состоянию оборудования;
- запросы на смену режимов работы данной рабочей позиции.

Система управления формирует и направляет пунктам контроля качества (ПУ КК), реализуемым в рамках типового решения на базе координатной контрольно-измерительной машины, следующие информационные потоки:

- программы измерений;
- программы поверки и аттестации;
- команды «Пуск» и «Стоп».

Обратно от ПУ КК на систему управления поступают применительно к типовому решению следующие информационные потоки:

- сигналы готовности;
- сигналы начала и конца цикла измерений;
- отработанные тексты программ измерений;
- данные по состоянию измерительного оборудования;
- результаты измерений.

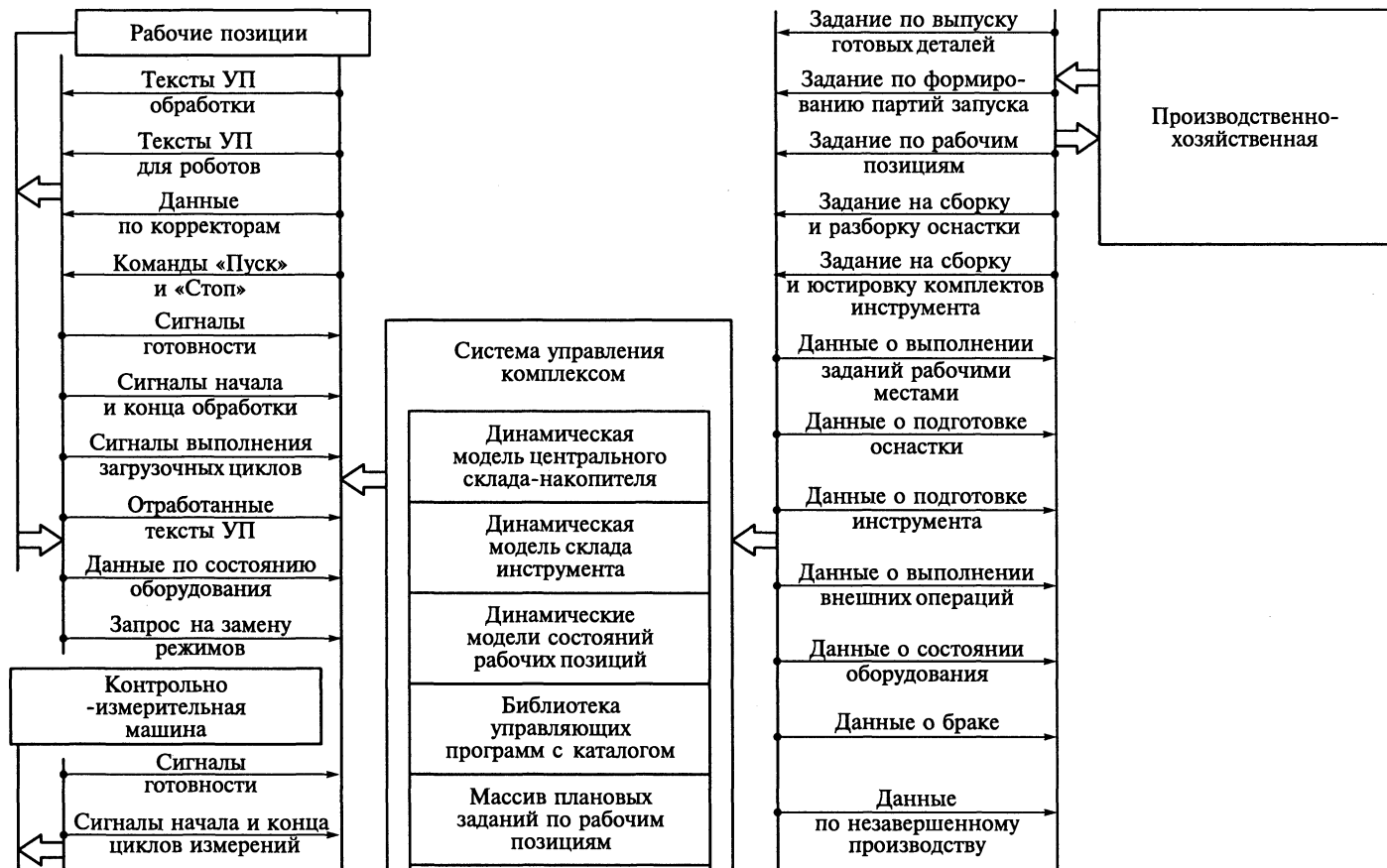
Система управления формирует и направляет на автоматизированную транспортно-складскую систему применительно к типовому решению следующие информационные потоки:

- код адресата назначения данной грузоединицы;
- карта маршрутов, существующих на данном участке;
- установочные циклы;
- команды «Пуск» и «Стоп».

Обратно от АТСС на систему управления поступают применительно к типовому решению следующие информационные потоки:

- сигналы готовности;
- сигналы выполнения операций;
- аварийные сигналы.

Характерным для современных компьютеризованных систем управления многономенклатурной обработкой и сборкой является то, что они представляют собой человеко-машинные комплексы. Это значит, что часть функций управления возлагается на различного рода технические устройства, а остальные



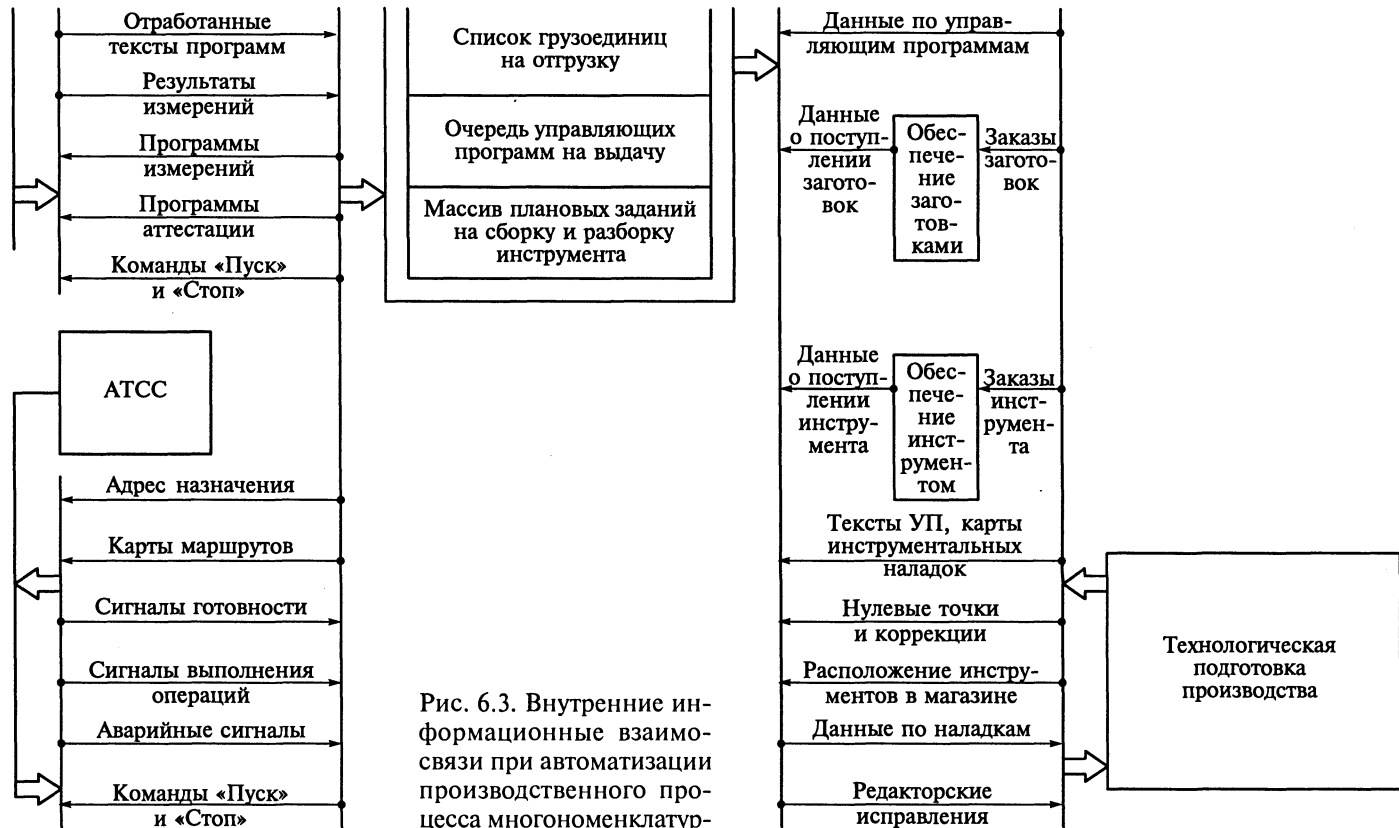


Рис. 6.3. Внутренние информационные взаимосвязи при автоматизации производственного процесса многономенклатурного комплекса

выполняются человеком. Следовательно, подобная система управления обменивается информационными потоками не только с агрегатами данного производственного комплекса, но и с персоналом.

Применительно к типовому решению система управления формирует и посылает персоналу следующие информационные потоки:

- справки по различным картотекам;
- тексты управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- карты инструментальных наладок;
- директивы по расположению инструментов в соответствующих инструментальных магазинах;
- текущие плановые задания.

Обратно от персонала применительно к типовому решению система управления получает следующие информационные потоки:

- запросы по прохождению заказов;
- запросы по плановым заданиям;
- данные по корректировке картотек;
- данные по корректировке плановых заданий;
- редактирование текстов управляющих программ;
- данные по состоянию оборудования;
- указания по смене режимов.

Внешние информационные взаимосвязи. Что касается взаимосвязей системы управления комплексом для многономенклатурной обработки и сборки с внешней производственно-экономической средой, то они осуществляются посредством информационных потоков между этой системой и системами управления производственно-хозяйственной деятельностью и технологической подготовки производства.

В состав системы управления производственно-хозяйственной деятельностью (СУ ПХД) входят следующие подсистемы:

- технико-экономическое планирование;
- управление финансовой деятельностью;
- бухгалтерский учет;
- управление основным производством;
- управление качеством;
- управление кадрами;
- управление вспомогательным производством.

В состав системы технической подготовки производства (СУ ТПП) входят следующие подсистемы:

- конструкторская подготовка производства;
- технологическая подготовка производства;
- материальное обеспечение.

Из этих подсистем в типовую систему управления поступает следующая информация:

- задания на выгрузку готовых деталей;
- задания на комплектование партий выпуска;
- задания по рабочим местам комплекса;
- задания на внешние операции;
- задания на сборку технологической оснастки;
- разрешения на разборку технологической оснастки;
- задания на сборку комплектов инструмента;
- разрешения на расформирование комплектов инструмента;
- тексты управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- карты инструментальных наладок;
- данные по нулевым точкам и значениям коррекции, определяемые при подготовке управляющих программ для оборудования с ЧПУ;

- данные о поступлении и наличии заготовок;
- данные о поступлении и наличии инструмента.

Обратно из типовой системы управления в эти подсистемы поступает следующая информация:

- данные о выполнении заданий по рабочим местам;
- данные о подготовке и наличии оснастки;
- данные о подготовке и наличии инструмента;
- данные о выполнении внешних операций;
- данные о простоях и состоянии оборудования;
- данные о браке;
- данные по незавершенному производству;
- данные по управляющим программам для оборудования с ЧПУ;
- редакторские исправления текстов управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

6.4. Автоматизированные транспортно-складские системы

Автоматизированные транспортно-складские системы являются одним из важнейших компонентов производственных комплексов для многономенклатурной обработки и сборки. Их в ряде случаев можно считать системообразующим фактором, т. е. для заданного производственного процесса сначала конструируется соответствующая транспортно-складская система, а потом под нее подбирается и остальное технологическое оборудование. Поэтому автоматизированные транспортно-складские системы производственных комплексов для многономенклатурной обработки и сборки заслуживают отдельного рассмотрения.

Вообще транспортно-складские системы производственных комплексов для многономенклатурной обработки и сборки служат для автоматизированных размещения, регистрации, поиска,

выдачи и доставки заготовок и полуфабрикатов к позициям, где над ними выполняются те или иные операции технологического маршрута, а затем обработанные детали возвращаются с этих позиций и выдаются с данного производственного комплекса.

К таким транспортно-складским системам предъявляются следующие основные требования:

- надежность, в том числе безотказность, долговечность и ремонтпригодность;
- безопасность эксплуатации;
- высокая живучесть;
- минимизация затрат финансовых средств, труда и времени на проектирование, монтаж и пуско-наладочные работы;
- повышение комфортности работы операторов и общей культуры производства;
- обеспечение возможности встраивания в многономенклатурное производство новых технологических объектов.

Разновидности транспортно-складских систем. С точки зрения организации производственного процесса на подобном комплексе все его транспортно-складские системы могут быть сведены к двум разновидностям.

К первой разновидности относятся те транспортно-складские системы, у которых операции автоматизированных регистрации, размещения, поиска, выдачи и доставки заготовок и полуфабрикатов к позициям, где над ними выполняются те или иные операции технологического маршрута, совмещены. Совмещены также и операции по обратной доставке с этих позиций деталей, прошедших соответствующие операции технологического маршрута. Характерным примером такой структуры транспортно-складской системы является использование центрального склада-накопителя с адресуемым краном-штабелером, иначе называемым трансманипулятором, когда этот кран-штабелер используется для доставки заготовок и полуфабрикатов сразу же в рабочую зону производственных модулей на соответствующие рабочие позиции. Указанные производственные модули в таком случае обычно располагаются вдоль прямой линии в непосредственной близости от центрального склада-накопителя и в непосредственной близости от него, чтобы быть доступными для крана-штабелера. К этой же структурной разновидности автоматизированных транспортно-складских систем следует отнести и системы, основывающиеся на использовании различного рода напольных транспортеров и подвесных конвейеров, поскольку здесь операции автоматизированных регистрации, размещения, поиска, выдачи и доставки заготовок и полуфабрикатов к позициям, где над ними выполняются те или иные операции технологического маршрута, как и операции обратной доставки обработанных деталей, также совмещены.

Второй разновидностью транспортно-складских систем производственных комплексов для многономенклатурной обработки и сборки являются такие системы, где центральный склад-накопитель служит только для автоматизированного размещения заготовок, полуфабрикатов и обработанных деталей. Кран-штабелер в этом случае используется только для выполнения операций по загрузке-разгрузке такого центрального склада-накопителя. Входные и выходные позиции такого центрального склада-накопителя могут быть раздельными, а могут быть совмещены. Доставка грузоединиц в рабочие зоны производственных модулей, как и возвращение этих грузоединиц, выполняется специальной системой горизонтального адресуемого транспорта. Производственные модули при этом могут быть размещены по всей площади, занимаемой данным производственным комплексом, исходя из удобства его планировки. Примером такого горизонтального адресуемого транспорта могут служить различные рельсовые каретки, а также безрельсовые робототележки с различными видами трассирования.

В последнее время наибольшее распространение получили именно транспортно-складские системы производственных комплексов для многономенклатурной обработки и сборки второй разновидности, поскольку такие системы обладают большей компоновочной и эксплуатационной гибкостью.

Варианты рабочего режима. Важным является организация увязки цикла транспортировки с ходом производственного процесса. Здесь возможны как толкающий, так и тянущий варианты рабочего режима транспортно-складской системы.

В толкающем режиме инициатива на доставку требующейся грузоединицы исходит от соответствующего рабочего места. Это может быть сигнал от локального устройства управления, а может быть запрос, исходящий от персонала и передающийся системе управления через тот или иной терминал. В таком случае персоналу раздается выполненный в читабельной форме план работы станка или группы станков, связанных с данным терминалом. В условиях наличия персонала на рабочих позициях оказывается необязательной установка заготовок на приспособления-спутники при поступлении этих заготовок. Установка заготовок в приспособления, необходимые для выполнения запланированных операций, может выполняться персоналом после фактической доставки соответствующих заготовок на рабочие позиции.

В тянущем режиме хранение, поиск и транспортирование грузоединиц осуществляется по «инициативе сверху» по сигналам, поступающим от системы управления всем производственным комплексом. Заготовки до их выдачи на обработку должны быть установлены в специализированные палеты, обеспечивающие возможность обработки этих заготовок на соответствующих рабо-

чих позициях. Указание на выбор, поиск и доставку запланированной к обработке грузоединицы формирует система управления всем производственным комплексом в ответ на сигнал от станка, что он свободен и готов приступить к дальнейшей работе по плану.

В толкающем режиме система управления всем производственным комплексом формирует планы выполнения операций по рабочим местам и выдает эти планы в читабельной форме на соответствующие внешние устройства. В тянущем режиме система управления всем производственным комплексом не только формирует планы выполнения операций по рабочим местам, но и организует работу транспортно-складской системы таким образом, чтобы обеспечить выполнение этих планов.

Обычно при создании конкретных комплексов многономенклатурной обработки и сборки предусматривается возможность перехода из одного режима работы в другой.

Очевидно, что число станков, которое можно обслужить данной транспортно-складской системой, зависит от соотношений между временем доставки грузоединиц со склада на позиции загрузки-выгрузки станков и временем пребывания данных заготовок или полуфабрикатов на этих станках. Процесс поступления и удовлетворения заявок на транспортировку грузоединиц показан на рис. 6.4.

При неадекватном выборе структуры транспортно-складской системы и параметров входящих нее устройств, а также в результате неверной организации процесса обработки соответствующих информационных потоков возможно образование очередей заявок и задержек в обслуживании этих заявок.

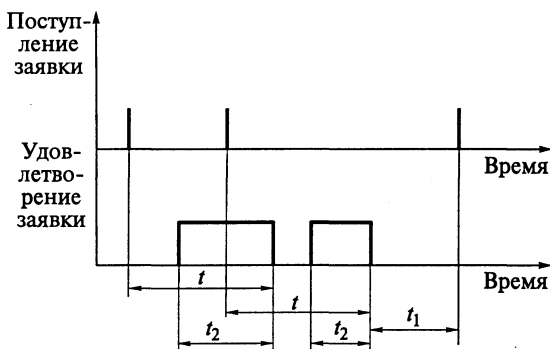


Рис. 6.4. Поступление и удовлетворение заявок на транспортировку:

t — время между поступлением заявки на транспортировку и ее удовлетворением; t_1 — время между окончанием удовлетворения предыдущей заявки и поступлением следующей заявки; t_2 — время удовлетворения заявки

Агрегатно-модульный принцип построения. В целях использования универсальных типовых решений следует применять агрегатно-модульный принцип построения транспортно-складских систем комплексов многономенклатурной обработки и сборки. Агрегатно-модульный принцип построения должен быть распространен не только на структуру технических средств подобных систем, но и на построение их информационных структур.

Взаимодействие модулей между собой при передаче грузоединиц осуществляется посредством терминальных механизмов, позволяющих одному модулю оставить на таком механизме грузоединицу, а другому модулю забрать ее. Устройства и механизмы, являющиеся модулями такой системы целесообразно строить из унифицированных узлов. Например, грузораспределительное оборудование (ГРО) загрузки состоит, как правило, из роликовых и цепных конвейеров, поворотных и подъемных столов, устройств контроля и других типовых механизмов.

Часть задач управления транспортно-складской системой в составе управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки решается автоматически с применением компьютерных средств, а часть остается за персоналом, который также должен соблюдать принципы иерархии и трудовую дисциплину (рис. 6.5).

Информационная структура. Информационная структура транспортно-складской системы в составе управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки содержит список информационных модулей, соответствующих модулям хранения грузов и модулям терминальных механизмов. Каждый информационный модуль, являющийся элементом данной структуры, определяется информацией, имеющей следующие поля:

- *имя* — уникальная информация, позволяющая различать пользователей и регистрировать производимые ими действия, а также ограничивать круг лиц, допущенных к работе, связанной с автоматическим оборудованием;

- *пароль* — информация, необходимая для предотвращения несанкционированного доступа к информации и управлению автоматизированной транспортно-складской системой;

- *тип пользователя системы* — информация, которая определяет для данного оператора набор возможных для него операций по доступу к массивам информации и ее изменению;

- *дата регистрации* — дата регистрации начала действий пользователя;

- *тип заявки* — этим определяется приоритет данной заявки, причем возможны три режима обработки заявок: срочный, нормальный и фоновый;

- *внутреннее имя грузоединицы* — это уникальное имя, соответствующее данному набору ее параметров;

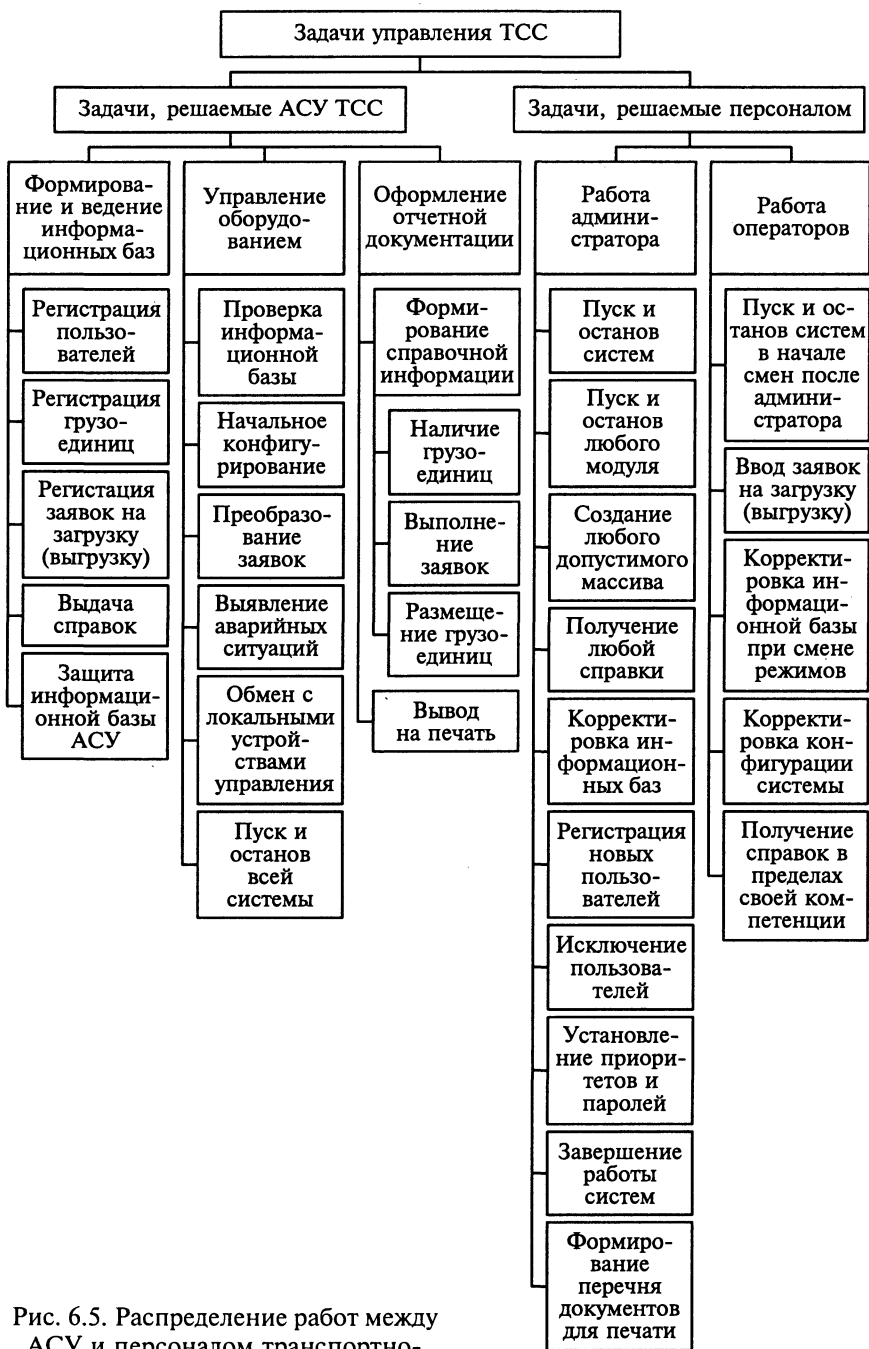


Рис. 6.5. Распределение работ между АСУ и персоналом транспортно-складской системы

• *признак состояния заявки* — это информация, позволяющая контролировать процесс удовлетворения системой данной заявки.

Для того чтобы центральный склад-накопитель, который в принципе может конструктивно состоять из нескольких стеллажей, рассматривался как целостная единица, необходимо избежать потерь информации при обмене между ПДУ такого склада и бортовой системой управления кранами-штабелерами.

С этой целью для каждого крана-штабелера в памяти ПДУ отводится своя собственная зона, в которой размещается следующая информация:

- имя модуля, к которому относится данная информация;
- характеристика данного крана-штабелера, включающая в себя скорости и ускорения перемещения по вертикали и горизонтали, длительности точного останова при перемещении по вертикали и горизонтали, а также длительности полуцикла рабочего органа (телескопического стола для погрузки-выгрузки) данного крана-штабелера.

Для взаимодействия ПДУ с бортовой системой управления крана-штабелера необходима следующая информация:

- границы адресования крана-штабелера, т.е. минимальные значения координат по горизонтали и вертикали;
- текущая команда, выполняемая краном-штабелером;
- признак текущего состояния крана-штабелера;
- номер физического канала для обмена с бортовой системой управления крана-штабелера.

Описание стеллажей, так же как и описание крана-штабелера, содержит физические и информационные характеристики.

Физические характеристики должны содержать коды следующих данных:

- размеры ячейки стеллажа, т.е. ширина, высота и глубина;
- признак нахождения стеллажей слева или справа относительно крана-штабелера;
- границы стеллажей, т.е. максимальные и минимальные значения координат ячеек стеллажей для правой и левой сторон стеллажа;
- приращения к адресу ячейки при перемещении крана-штабелера на один этаж по вертикали или на одну стойку по горизонтали для правой и левой сторон стеллажа.

Информационные характеристики стеллажей представляют собой ссылки на информационные модели стеллажей правой и левой стороны.

Каждая из этих информационных моделей представляет собой массив данных, содержащий номенклатуру грузоединиц и константы, определяющие свободные и запрещенные ячейки стеллажей.

Справочник модуля содержит информацию, необходимую для установления соответствия между данным модулем и характеристиками грузоединиц, зарегистрированных в системе.

Каждый элемент справочника модуля должен содержать следующую информацию:

- имя грузоединицы;
- значения условного идентификатора, соответствующего данному имени грузоединицы;
- число грузоединиц с данным условным идентификатором, находящихся в стеллажах данного модуля;
- ссылка на параметры модуля.

Список терминальных механизмов модуля содержит описания механизмов, посредством которых кран-штабелер осуществляет прием и передачу грузоединиц. Каждый терминальный механизм должен описываться следующей информацией:

- имя данного терминального механизма;
- координаты данного терминального механизма в зоне адресования;
- тип данного терминального механизма, т.е. предназначен ли он для загрузки, выгрузки или является универсальным;
- признак его текущего состояния, т.е. исправен ли он, а если исправен, то занят или свободен.

Список заданий модуля хранения определяет необходимую работу крана-штабелера по транспортировке грузоединиц и порядок выполнения отдельных транспортных операций. Весь список заданий разбивается на три группы: на срочные, нормальные и фоновые задания.

Задания, входящие в список, должны содержать такую информацию, как ссылки на параметры транспортной грузоединицы, имя механизма, на котором первоначально располагается данная грузоединица, число необходимых повторений задания, число успешно завершенных повторений задания, число команд крану-штабелеру, сформированных по данному заданию, код признака состояния данного задания, а также ссылку на заявку, по которой сформировано данное задание. Для ведения отчетности по командам составляется список соответствующих отчетов. В него заносятся команды, выполненные краном-штабелером, а информация по этим командам должна быть аналогичной информации, содержащейся в команде, формируемой по заданию.

6.5. Операции многономенклатурной обработки и сборки

Эффективность механической обработки в машиностроении до настоящего времени определяют традиционные операции фор-

мообразования, связанные со снятием стружки, а именно разнообразные операции фрезерования, различные виды точения, сверления, растачивания и шлифования.

Операции управления производственным процессом можно классифицировать по двум признакам.

При классификации по признаку назначения все операции управления производственным процессом подразделяются следующим образом:

- подготовка полных исходных данных по складу заготовок;
- подготовка данных по маршруту транспортировки заготовок;
- операции управления складом инструментов, в том числе проектированием и изготовлением специального инструмента;
- операции управления складом технологической оснастки, в том числе ее проектированием и изготовлением;
- операции управления процессами транспортировки заготовок, технологической оснастки и инструментов;
- операции управления оборудованием технологического процесса;
- операции управления складом готовых изделий.

При классификации по признаку принципа их реализации все операции управления производственным процессом подразделяются следующим образом:

- динамическое и статическое ведение моделей состояния склада заготовок;
- динамическое и статическое ведение моделей состояния склада инструментов;
- динамическое и статическое ведение моделей состояния складской технологической оснастки;
- осуществление операций транспортировки;
- составление полного отчета по состоянию технологического оборудования;
- операции по отправке на склад готовых изделий.

Загрузка оборудования в многономенклатурном производстве определяется планом. Различают объемные и календарные планы-расписания.

Объемные планы устанавливают укрупненные балансы потребных фондов технологического времени и наличных фондов времени работы технологического оборудования.

Календарные планы-расписания доводят рабочие планы до регламентации выполнения отдельных операций технологического процесса на соответствующих рабочих позициях.

Проектирование производственной структуры многономенклатурного производства и сборки, выбор типов базовых станков и, вообще, рабочих мест, а также определение их числа осуществляется однократно и только на основании объемных планов.

Составление расписаний работы оборудования такого производственного комплекса производится многократно в процессе его эксплуатации с учетом реально возникающей производственной ситуации.

При проектировании производственной структуры многономенклатурного производства и сборки, выборе типов базовых станков и рабочих мест, а также при определении их числа различают три случая.

Производственная система построена на базе станков, характеризующихся полной технологической взаимозаменяемостью. В этом случае задача проектирования производственной структуры комплекса для многономенклатурной обработки и сборки формулируется следующим образом.

Необходимо построить производственную структуру из технологически взаимозаменяемых станков I типов, где $i = 1, 2, \dots, I$. На каждом i -м станке осуществляется полная обработка детали k -го типа. Годовая производственная программа проектируемого комплекса состоит из деталей n типов, т. е. $k = 1, 2, \dots, n$, причем число деталей каждого типа равно N_k . Станкочемкость обработки деталей k -го типа на i -м станке составляет t_{ik} . Известны также реальный годовой фонд времени каждого i -го станка и затраты на его приобретение и эксплуатацию. Требуется определить S_i — число станков каждого типа.

Эта задача решается как задача целочисленного линейного программирования, где целевой функцией является минимизация общих затрат на приобретение и эксплуатацию станков при удовлетворении ограничений по производственной программе, по реальному годовому времени, а также при удовлетворении требования целочисленности искомых значений переменных. В конкретных случаях могут иметься и некоторые дополнительные ограничения, например по дефицитности оборудования и надежности всего производственного комплекса, включая ограничения по долговечности, безотказности, ремонтпригодности и хранимости.

Производственная система построена на базе станков, характеризующихся частичной (неполной) технологической взаимозаменяемостью. Здесь имеет место взаимозаменяемость станков в пределах одной операции, а для различных операций необходимо применять станки различных типов. Например, шлифовальные операции, предусмотренные для данного комплекса, таковы, что их можно выполнять на самых разных шлифовальных станках, но их ни при каких обстоятельствах нельзя выполнять, скажем, на токарных станках.

Такой производственный комплекс предназначается для обработки деталей n типов, т. е. $k = 1, 2, \dots, n$, причем число деталей каждого типа равно N_k . Детали каждой k -й группы проходят опе-

рации j_k обработки из набора J_k , причем $j_k = 1, 2, \dots, J_k$. На каждой операции j_k из набора J_k можно использовать S_{jk} взаимозаменяемых станков I_j типов, причем $i_j = 1, 2, \dots, I_j$. Эти станки различаются производительностью, степенью автоматизации и затратами на их приобретение и эксплуатацию. Известны станкоемкость обработки одной детали k -й группы на j -й операции, выполняемой i -м станком. Требуется определить число станков каждого типа на каждой операции.

Здесь критерием оптимальности будет являться минимум стоимости выполнения всех операций технологического маршрута для всех деталей, предусмотренных производственной программой. Однако кроме уже встречавшимися при рассмотрении предыдущего случая ограничений по реальному годовому времени групп оборудования, целочисленности переменных, а также по дефицитности оборудования и надежности всего производственного комплекса, включая ограничения по долговечности, безотказности, ремонтпригодности и хранимости, здесь возникают и дополнительные ограничения d_{ijk} по использованию станков для выполнения тех или иных операций. Эти дополнительные ограничения имеют вид

$$d_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если станок } i\text{-го типа используется на } j\text{-й} \\ & \text{операции деталей } k\text{-й группы;} \\ 0, & \text{в противоположном случае.} \end{cases}$$

Производственная система построена на базе станков, скомпонованных по агрегатно-модульному принципу из унифицированных узлов. Компоновка таких станков должна определять производственную структуру комплекса, с экономической точки зрения наилучшим образом соответствующую конкретному объекту. Пусть требуется скомпоновать структуру, состоящую из многоцелевых станков I типов, причем $i = 1, 2, \dots, I$, каждый из которых может быть скомпонован из J унифицированных агрегатных узлов, выполненных в m_j типоразмерных модификациях, $m_j = 1, 2, \dots, M_j$. Годовая производственная программа включает в себя детали n групп, причем $k = 1, 2, \dots, n$. Число деталей k -й группы равно N_k . Станкоемкость обработки деталей k -й группы на i -м станке составляет t_{ik} , а реальный годовой фонд времени каждого станка принимается равным T_r . Затраты на узел j в исполнении m_j на i -м станке также известны. Необходимо определить оптимальные номенклатуру и число станков каждого типа, а также соответствующую номенклатуру унифицированных агрегатных узлов для их компоновки.

Критерий оптимальности здесь заключается в минимизации затрат на реализацию такой структуры. Ограничения связаны с реальным годовым фондом времени, производственной програм-

мой, поскольку ее выполнение должно быть обеспечено как по номенклатуре выпущенных деталей, так и по количеству этих деталей и в каждой группе по целочисленности искомых переменных, а также по дефицитности оборудования и надежности всего производственного комплекса, включая ограничения по долговечности, безотказности, ремонтпригодности и хранимости.

6.6. Технические средства управления многономенклатурными комплексами обработки и сборки

Система управления многономенклатурными обработкой и сборкой, представляющая собой человекомашинный программно-аппаратный комплекс, также обычно строится по иерархическому принципу с широким применением компьютерных средств и агрегатно-модульного построения. При иерархическом принципе построения систем управления каждый управляемый объект должен быть снабжен собственной системой управления, представляющей собой либо управленческий аппарат, либо программно-аппаратный комплекс, либо компьютерную сеть автоматического управления. Такая локальная система управления должна обеспечивать функционирование своего управляемого объекта в соответствии с его техническими характеристиками с учетом складывающейся производственной обстановки и директив вышестоящих уровней.

При создании такой системы должны соблюдаться следующие принципы:

- принцип *системности*, заключающийся в том, что взаимосвязи между ее компонентами должны устанавливаться и сохраняться как при проектировании, так и при реализации и развитии этой системы с целью обеспечения ее целостности;

- принцип *развиваемости*, заключающийся в том, что еще при проектировании системы должна быть предусмотрена возможность видоизменения ее функций и дополнительного включения функций за счет доработки имеющихся программных и аппаратных средств;

- принцип *стандартизации и унификации*, заключающийся в том, что еще при проектировании системы должно быть предусмотрено самое широкое применение типовых, унифицированных, стандартизованных или, по крайней мере, широко распространенных программных и аппаратных средств и технических решений;

- принцип *эффективности*, заключающийся в том, что между затратами труда, материальных ресурсов и времени на создание и

эксплуатацию подобной системы и получаемыми результатами должно существовать рациональное соотношение.

Генеральным направлением в создании такого рода систем управления является *децентрализация*. Однако децентрализация должна сочетаться с программной и аппаратной интеграцией. Такая интеграция обеспечивается за счет использования общих баз данных и объединения распределенных компьютеров в локальные вычислительные сети.

Существенным компонентом технических средств, используемых для создания такого рода систем, являются различного рода *дисплейные терминалы*, обеспечивающие оперативную двухстороннюю связь системы управления с персоналом. Подобные терминалы могут быть как алфавитно-символьными, так и графическими, как монохромными (черно-белыми), так и цветными. Они располагаются на всех уровнях иерархии систем управления многоменклатурной обработкой и сборкой.

На уровне организационно-технологического управления они используются для ввода, вывода и индикации плановой и отчетно-справочной информации, учета поступления и отправки заготовок, изделий, инструментов, приспособлений, материалов и комплектующих, ввода, вывода и индикации конструктивных и технологических данных по обрабатываемым деталям, необходимым для технологической подготовки их запуска, а также же для ведения диалога с персоналом, занимающимся организационной и технологической подготовкой производства, и ведения диалога с общезаводскими службами.

На уровне диспетчерского управления эти терминалы используются для ввода, вывода и индикации информации, необходимой для ведения производственного процесса, внесения корректировок в сменно-суточные задания по рабочим позициям и редактирования текстов управляющих программ оборудования с ЧПУ, а также для внесения корректировок в массивы картотек, ведущихся системой управления и осуществления диалога с уровнем организационно-технологического управления.

На уровне группового управления подобные терминалы используются для переадресации текстов управляющих программ оборудования с ЧПУ и их редактирования, для внесения директив, определяющих взаимодействие единиц оборудования, образующих данную группу, а также для осуществления диалога с диспетчерским уровнем и уровнем непосредственного управления.

На уровне непосредственного управления подобные терминалы используются для редактирования текстов управляющих программ оборудования с ЧПУ в режиме автономного управления, а также диалога с уровнем группового управ-

ления, оборудованием комплекса и соответствующим персоналом.

Функции управления, которые должны присутствовать во всякой подобной системе, могут быть различным образом распределены по устройствам комплекса технических средств. Например, ведение картотеки центрального склада-накопителя может осуществляться компьютером ПДУ, компьютером или компьютерной сетью диспетчерского управления всего комплекса либо компьютером или компьютерной сетью организационно-технологического уровня. Формирование и ведение библиотеки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, если даже организовывать ее по иерархическому принципу, может реализовываться на устройствах различного уровня. Можно сделать так, чтобы все функциональные уровни этой библиотеки реализовывались (были резидентными) на одном устройстве, например на устройстве ЧПУ уровня непосредственного управления. Можно сделать и так, чтобы каждому функциональному уровню этой библиотеки соответствовало бы свое устройство. Между этими устройствами должна в этом случае существовать такая же иерархия, как и между реализуемыми ими функциями.

Выбор структуры комплекса технических средств системы управления многономенклатурной обработкой и сборкой производится из условия минимизации затрат на приобретение и эксплуатацию устройств, образующих указанную систему. При этом надо знать стоимость реализации определенной функции управления на том или ином устройстве.

Пример возможного выбора и распределения технических средств управления приведен на рис. 6.6.

Возможны и другие варианты выбора технических устройств для управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки, обусловленные наличием или дефицитом тех или иных устройств автоматизации, а также общим прогрессом в области компьютерной техники и в технологическом оборудовании.

Обычно при создании новых автоматизированных производств их ввод в действие начинают с нижних уровней иерархии, последовательно добавляя вышестоящие уровни. Например, на вновь создаваемом машиностроительном предприятии, уровнем автоматизации которого изначально не задаются, вначале вводят в действие автоматические и другие станки в автономном режиме, затем связывают их с помощью автоматизированных транспортно-складских систем, организуют группы оборудования и укомплектовывают их соответствующими пунктами группового управления, а затем вводят в действие комплексы технических средств диспетчерского и организационно-технологического уровней.

При автоматизации уже действующих предприятий процесс компьютеризации и автоматизации процессов управления обыч-

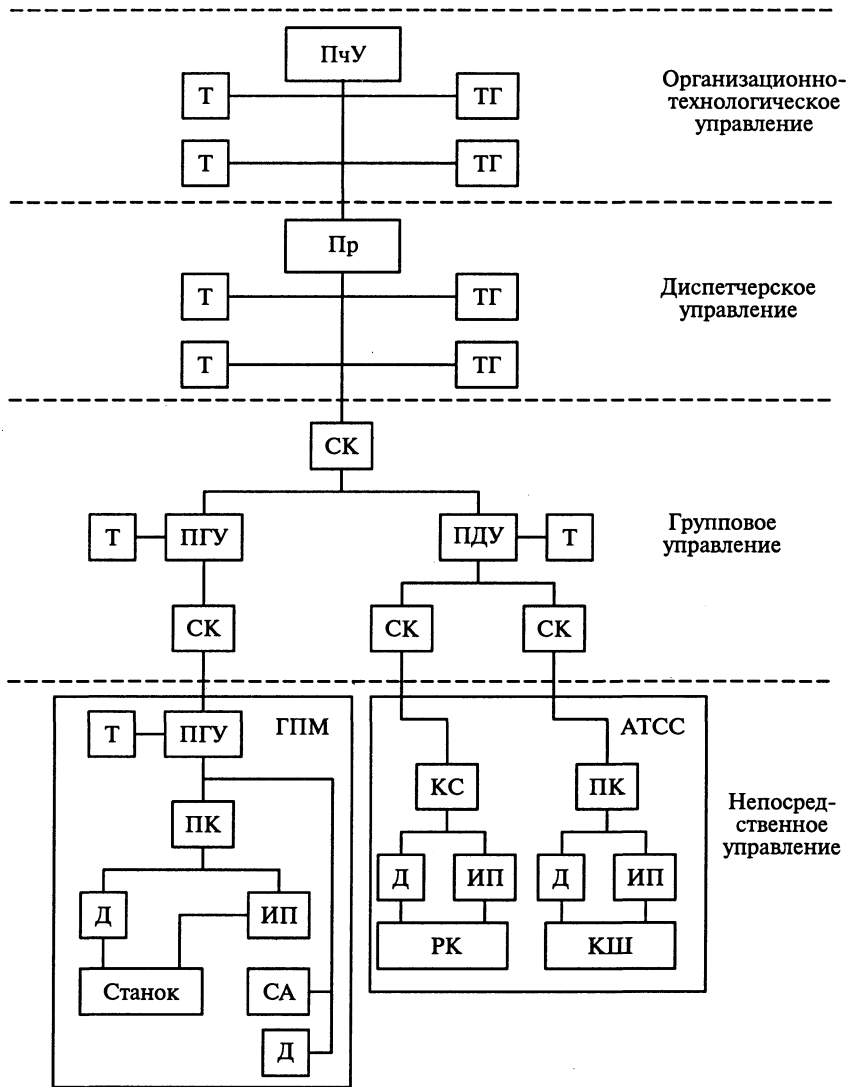


Рис. 6.6. Пример компоновки структуры комплекса технических средств многономенклатурной обработки и сборки:

Пр — процессор управляющего компьютера; ПчУ — печатающее устройство; Т — алфавитно-символьный терминал; ТГ — графический терминал; ПГУ — пункт группового управления рабочей позицией; ПДУ — пункт диспетчерского управления транспортно-складской системой; СК — средства комплексирования; КС — компьютер склада; Д — датчики; ИП — исполнительные приводы; КШ — кран-штабелер; ПК — программируемый командоконтроллер; УЧПУ — устройство числового программного управления; СА — средства пристаночной автоматизации и механизации; РК — робототележки; ГПМ — гибкий производственный модуль; АТСС — автоматизированная транспортно-складская система

но начинается, наоборот, с верхних уровней. Он заключается в том, что в эксплуатацию вводятся системы менеджерского уровня и системы автоматизации конструкторской, технологической и организационной подготовки производства, а также системы управления материально-техническим снабжением и сбытом. Иногда на этом компьютеризация действующего производства и заканчивается.

Для вновь создаваемых производств, изначально ориентируемых на высокую степень автоматизации и компьютеризации, целесообразна поэтапная реализация со встречным движением сверху вниз и снизу вверх. Например, для машиностроительных производств это значит, что сначала вводятся в действие автоматические и другие станки в автономном режиме, а одновременно с этим на верхнем уровне вводится в действие система автоматизации проектирования (САПР). Подобная САПР на первоначальном этапе должна готовить минимум технологической документации, необходимой для работы введенных в действие станков. Затем эти станки объединяются с помощью АТСС, а на верхнем уровне вводится система автоматизации организационной подготовки производства, в том числе формирование портфеля заказов и управление сбытом, ориентированные на внешнюю экономическую среду, и внутривзаводская АСУП. Затем вводятся в действие пункты группового управления, а на верхнем уровне — проектирование изделий на базе САПР конструкторского назначения. Затем системы межцеховой диспетчеризации и автоматизированного оперативно-календарного планирования учета обработки деталей и движения материальных потоков осуществляют замыкание верхних и нижних уровней автоматизированного производства.

6.7. Задание исходных данных для многономенклатурных комплексов обработки и сборки

Задание исходных производственных данных, определяющих функционирование многономенклатурных комплексов обработки и сборки, по сравнению с заданием исходных производственных данных для различного рода автоматических линий является гораздо более сложной задачей. Работа всякой автоматической линии между ее переналадками состоит из повторяющихся одинаковых циклов, зачастую достаточно коротких. Для задания в этом случае исходных данных оказывается достаточным описать один такой цикл, и работа автоматической линии на весь период ее эксплуатации или, по крайней мере, на период между ее соседними во времени переналадками будет однозначно определена.

Заранее описать последовательность производственных действий в многономенклатурных комплексах обработки и сборки, сведя их к ограниченному числу повторяющихся циклов, не представляется возможным. Однако можно задаться правилами, которыми нужно руководствоваться в тех или иных фактически складывающихся производственных ситуациях. Это напоминает игру в шахматы, когда заранее невозможно для общего случая задать все варианты возникающих позиций, но можно оговорить правила, которые необходимо соблюдать, осуществляя те или иные действия.

Для задания исходных данных, определяющих последовательность действий, совершаемых в многономенклатурных комплексах обработки и сборки по ходу производства, применяются различные методы.

Словесное задание исходных данных. Один из таких методов состоит в использовании словесного задания на русском языке. В таком случае словесное задание состоит из фраз такого вида:

- если система находится в исходном нерабочем состоянии, то она не должна реагировать ни на один сигнал, кроме сигнала «Пуск»;

- если имеет место управление рабочими позициями от пунктов группового управления и приходит запрос на смену режима управления, то при готовности библиотеки управляющих программ, наличии сформированных плановых заданий, соответствующих заготовок на складе и инструментальных комплектов этот запрос удовлетворяется.

В том случае, когда одно из перечисленных условий не выполняется, то этот запрос не удовлетворяется, а на остальные сигналы компьютер диспетчерского управления при этом не реагирует.

Это описание может быть продолжено.

Подобное словесное описание отражает представления технолога о том, как должен протекать автоматизируемый процесс многономенклатурной обработки и сборки. Оно должно быть полным и однозначным. Основным недостатком такого способа задания исходных данных для проектирования автоматизированной системы управления многономенклатурной обработкой и сборкой является его большой объем, так что к концу подобного описания и его составитель, и интерпретатор могут забыть о том, что было в начале этого описания и (или) пропустить его существенные подробности.

Задание исходных данных на проблемно-ориентированном языке. Для исключения указанного недостатка задание подобных исходных данных производится в сжатой форме на соответствующем проблемно-ориентированном языке, разработанном специально для целей описания производственной деятельности на таких комплексах. Примером проблемно-ориентированного языка,

разработанного специально для многоименных комплексов обработки и сборки, может служить язык CPL (Cell Programming Language).

Проблемно-ориентированный язык такого рода строится на основе системы макроопределений какого-либо языка общего назначения, такого, например, как Фортран или Паскаль. Формат выражений этого языка имеет следующий вид:

глагол операнд [оператор] операнд...

Примером построенного по общим правилам конкретного выражения может служить фраза:

```
CARRY PCODE [FROM] MACH1 [TO] MACH2 [WITH] CARRIER.
```

Здесь робототележка (CARRIER) должна переместить (CARRY) деталь, идентифицированную заданным кодом (PCODE — Piece Code) от (FROM) станка 1 (MACH1) до (TO) станка 2 (MACH2).

Диспетчерское управление, описанное таким образом, взаимодействует с пунктами группового управления через массивы:

- AMT (Active Mission Table) — перечень задач управления (Missions), которые активизируются в данный момент;

- AST (Active Step Table) — перечень запросов на выполнение тех или иных задач управления, посылаемых через шаги Steps;

- CDT (Call Device Table) — таблица состояний агрегатов комплекса, корректируемая по результатам выполнения соответствующих шагов.

Далее приводятся основные фразы проблемно-ориентированного языка CPL:

- CARRY PCODE [FROM] DEV1 [TO] DEV2 [WITH] DEV3 — переместить деталь PCODE от DEV1 к DEV2 с помощью DEV3;

- EXECUTE PPROG [ON] DEV — выполнить программу на указанном устройстве;

- FIND LOCATION [OF] PCODE [ON] DEV — определить расположение детали PCODE на указанном устройстве;

- GET STATUS [FROM] DEV — получить данные о состоянии указанного устройства;

- INPUTMISSION — ввести задачу;

- LOAD PCODE [FROM] DEV1 [TO] DEV2 — перегрузить деталь PCODE с DEV1 на DEV2;

- LOCK DEV — выключить указанное устройство;

- OUTPUT MISSION — вывести задачу;

- RESERVE LOCATION [FROM] PCODE [ON] DEV — резервировать размещение детали PCODE на указанном устройстве;

- STOPMISSION — остановить задачу;

- STORE PCODE [ON] LOCATION [OF] DEV1 [TO] DEV2 [WITH] DEV3 — расположить деталь PCODE на DEV2, переместив ее с DEV1 на DEV2 с помощью DEV3;

• TRANSMIT PROG [TO] DEV — передать программу на указанное устройство;

• UNLOCK DEV — отключить указанное устройство.

Для названного языка предполагается разработать соответствующий транслятор, автоматически переводящий текст составленного на этом языке описания производственного процесса в прикладные программы компьютера, осуществляющего в соответствии с этим описанием диспетчерование производства. Однако это описание может быть использовано и при отсутствии такого транслятора в качестве исходных данных для построения алгоритма диспетчерования.

Задание исходных данных для группы оборудования для токарной обработки. Задание исходных данных для пункта группового управления рассмотрим на примере группы оборудования для токарной обработки, показанной на рис. 6.7.

Эта группа состоит из трех одинаковых токарных автоматических станков 4 с устройствами ЧПУ 7 и устройствами сопряжения 6, соединенными со станками 4 коммутационными коробами 5. Станки 4 снабжены загрузочными устройствами на базе промышленных роботов, пристроенных к станинам этих станков и имеющих собственные устройства ЧПУ 8, а также собственные локаль-

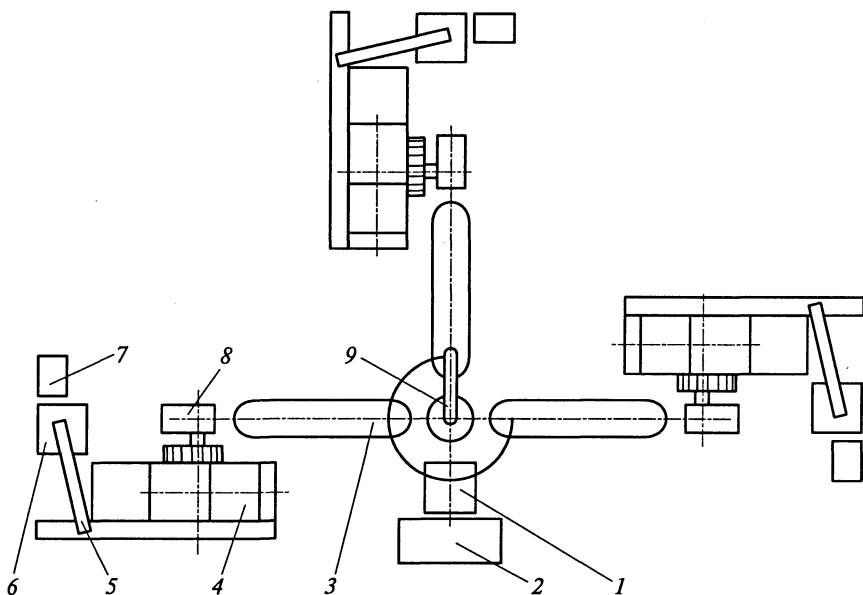


Рис. 6.7. Группа оборудования для токарной обработки:

1 — стол загрузки-выгрузки; 2 — робототележка; 3 — тактовый стол; 4 — станок; 5 — коммутационный короб; 6 — устройство сопряжения; 7 — ЧПУ станка; 8 — ЧПУ робота-загрузчика; 9 — рука робота-раскладчика

ные накопители в виде тактовых столов 3, представляющих собой напольные, пластинчатые, шаговые, замкнутые транспортеры со своими локальными устройствами циклового управления, обеспечивающими работу этих транспортеров в стартстопном режиме. На всю группу приходится один общий стол 1 загрузки-выгрузки со своим роботом-раскладчиком, рука 9 которого способна достигать как этого стола, так и тактовых столов станков, входящих в данную группу. Обслуживает группу робототележка 2.

Один из возможных вариантов организации производственного процесса такой группы состоит в следующем.

К столу 1 загрузки-выгрузки прибывает робототележка 2 с кассетой, содержащей заготовки деталей, запланированных к обработке данной группой. Вызов робототележки 2 осуществляется по командам диспетчерского управления в ответ на сигнал от группового управления о том, что стол 1 загрузки-выгрузки освобожден и готов к приему следующей кассеты. В подвешенной кассете помимо заготовок должно быть, по крайней мере, одно свободное место, обеспечивающее возможность обмена с данной технологической группой.

По сигналу о прибытии к столу 1 загрузки-выгрузки робототележки 2 включается локальное цикловое устройство непосредственного управления соответствующего перегрузочного устройства, обычно входящего в состав конструкции робототележки, и кассета с заготовками оказывается на столе 1 загрузки-выгрузки. Сигнал об этом факте служит разрешением для передачи заготовок на тот или иной тактовый стол 3 и для возвращения обратно обработанных деталей.

После окончания обработки очередной детали по сигналу об этом факте групповым управлением должна быть произведена следующая последовательность действий:

- из памяти группового управления в устройство ЧПУ, пристроенного к станине данного токарного станка робота, выдаются программа выгрузки данной детали из патрона шпинделя станка и сигнал о возвращении этим роботом обработанной детали на ту позицию тактового стола, с которой она была ранее взята на обработку;

- по окончании цикла движений пристроенного к станине данного токарного станка робота из памяти группового управления выдается команда на перемещение тактового стола на следующую позицию;

- по завершении перемещения тактового стола из памяти группового управления выдаются тексты программ на пристроенный к станине данного станка робот и на центральный перегрузочный робот, а также команды на пуск этих программ, в результате чего обработанная деталь перемещается на свободное место в кассете, а очередная заготовка из кассеты перемещается на освободившееся место на тактовом столе;

- по завершении всех этих циклов по сигналу об их окончании на устройство ЧПУ станка выдается текст управляющей программы, соответствующей детали, установленной в патроне данного станка, и команда на ее пуск, а у диспетчерского управления запрашивается текст управляющей программы, соответствующей новой заготовке, переданной из кассеты на тактовый стол;

- после окончания обработки новой детали цикл управления группой оборудования повторяется.

Методы формального задания исходных данных. В настоящее время известны несколько методов формального задания исходных данных для синтеза алгоритмических структур многономенклатурных комплексов обработки и сборки.

Наибольшее распространение получили использование И—ИЛИ-графов и сетей Петри.

И — ИЛИ-граф представляет собой изображенную графически на плоскости совокупность элементов вида $G(N, M, F)$, где N — вершина графа; M — направленные связи между вершинами; F — логические функции, отображающие взаимозависимости между отдельными операциями, составляющими проектируемую алгоритмическую структуру.

При отображении алгоритмической структуры с помощью И—ИЛИ-графа каждая операция, которую необходимо выполнить, изображается вершиной графа; взаимосвязи между этими операциями, как и их последовательность, задаются стрелками, исходящими и входящими в эти вершины; логические связи между результатами предыдущих операций и входными данными для последующих операций определяются комбинациями элементарных операций И, обозначаемых $\&$, и ИЛИ, обозначаемых \vee . Входные данные для вершины A обозначаются $F_{\text{вх}}(A)$, а выходные, являющиеся результатом ее выполнения, — $F_{\text{вых}}(A)$.

Инвертирование результата выполнения операции изображается кружком в точке выхода стрелки из соответствующей вершины графа.

В рассмотренном случае состояния системы группового управления, интерпретируемые как вершины И—ИЛИ-графа, будут таковы:

- A_1 — вызов робототележки с новой кассетой;
- A_2 — регистрация размещения доставленной кассеты на обменной позиции;
- A_3 — выдача на загрузочный робот текста управляющей программы выгрузки;
- A_4 — выдача команды на включение цикла выгрузки;
- A_5 — прием сигнала об окончании цикла выгрузки;
- A_6 — выдача команды на перемещение тактового стола;
- A_7 — прием сигнала об окончании перемещения тактового стола;

• A_8 — выдача на соответствующий загрузочный робот текста управляющей программы загрузки новой детали в патрон шпинделя станка;

• A_9 — выдача на центральный распределительный робот текста управляющей программы обмена деталями между кассетой и тактовым столом;

• A_{10} — выдача на соответствующий загрузочный робот команды на пуск управляющей программы загрузки новой детали в патрон шпинделя станка;

• A_{11} — выдача команды на пуск управляющей программы обмена деталями между кассетой и тактовым столом;

• A_{12} — прием сигнала об окончании загрузки детали в патрон;

• A_{13} — прием сигнала об окончании отработки управляющей программы обмена деталями между кассетой и тактовым столом;

• A_{14} — выдача на ЧПУ соответствующего станка текста управляющей программы обработки детали, установленной в патрон его шпинделя;

• A_{15} — выдача на диспетчерский уровень запроса на текст управляющей программы обработки детали, переданной из кассеты на тактовый стол;

• A_{16} — выдача команды на начало обработки по программе детали, установленной в патроне шпинделя станка;

• A_{17} — прием и размещение текста управляющей программы, полученной из диспетчерского уровня;

• A_{18} — прием сигнала об окончании обработки детали;

• A_{19} — проверка и установление того факта, что все детали, привезенные в кассете, прошли обработку.

Логические связи между перечисленными ранее элементарными операциями, выполняемыми при групповом управлении, запишутся следующим образом:

$$F_{\text{вх}}(A_1) = F_{\text{вых}}(A_{10}); F_{\text{вх}}(A_2) = F_{\text{вых}}(A_1);$$

$$F_{\text{вх}}(A_3) = F_{\text{вых}}(A_{18}); F_{\text{вх}}(A_4) = F_{\text{вых}}(A_3);$$

$$F_{\text{вх}}(A_5) = F_{\text{вых}}(A_4); F_{\text{вх}}(A_6) = F_{\text{вых}}(A_5);$$

$$F_{\text{вх}}(A_7) = F_{\text{вых}}(A_6); F_{\text{вх}}(A_8) = F_{\text{вых}}(A_7);$$

$$F_{\text{вх}}(A_9) = F_{\text{вых}}(A_7) \ \& \ \bar{F}_{\text{вых}}(A_{19}); F_{\text{вх}}(A_{10}) = F_{\text{вых}}(A_8);$$

$$F_{\text{вх}}(A_{11}) = F_{\text{вых}}(A_9) \ \& \ F_{\text{вых}}(A_2); F_{\text{вх}}(A_{12}) = F_{\text{вых}}(A_{16});$$

$$F_{\text{вх}}(A_{13}) = F_{\text{вых}}(A_{11}); F_{\text{вх}}(A_{14}) = F_{\text{вых}}(A_{12});$$

$$F_{\text{вх}}(A_{15}) = F_{\text{вых}}(A_{13}); F_{\text{вх}}(A_{16}) = F_{\text{вых}}(A_{14});$$

$$F_{\text{вх}}(A_{17}) = F_{\text{вых}}(A_{15}); F_{\text{вх}}(A_{18}) = F_{\text{вых}}(A_{16});$$

$$F_{\text{вх}}(A_{19}) = F_{\text{вых}}(A_{18}).$$

ющейся в циклическом повторении всего алгоритма или какой-либо его части. Одним из самых распространенных способов задания исходной информации для проектирования алгоритмических структур, который допускает верификацию заданной информации, является использование сетей Петри, названных так по фамилии предложившего их германского математика.

Классическая сеть Петри представляет собой изображенный на плоскости ориентированный мультиграф, компонентами которого являются:

- изображения позиций — кружки, соответствующие дискретным состояниям, через которые проходит данная система; позиции на сети Петри обозначаются P ;

- изображения переходов, т.е. событий, которые должны произойти в системе, чтобы она перешла из одного состояния в другое; переходы на сети Петри изображаются вертикальными или горизонтальными черточками, что соответствует барьерам, которые необходимо преодолеть при переходе из одного состояния в другое, и обозначаются T ;

- изображения предусловий, т.е. линий или дуг со стрелками, ведущих из того или иного состояния к данному переходу;

- изображения пост-условий, т.е. линий или дуг со стрелками, ведущих из того или иного перехода к соответствующим состояниям.

Сеть Петри представляет собой развернутое на плоскости изображение всех возможных состояний системы независимо от последовательности, в которой они должны происходить. Но в сети Петри указываются также и условия, необходимые для того, чтобы в проектируемой системе происходили те или иные события. Поэтому граф сети Петри используется для моделирования развертывания во времени возможной последовательности событий в проектируемой системе. Подобное моделирование, «проигрывание», сводится к тому, что каким-либо образом отмечается выполнение, «срабатывание», того или иного перехода. Для этого надо отмечать наличие условий такого «срабатывания» и его результаты. Переход «срабатывает», если выполняются изображенные на графе его предусловия. «Срабатывание» перехода означает выполнение его пост-условий.

Проще всего эти отметки выполнять, помещая на входах и выходах перехода маркеры, называемые также фишками, соответствующие линиям (дугам) со стрелками, ведущими в данный переход и из него. В качестве фишек могут быть использованы обычные пуговицы.

Если в результате такого «проигрывания» сети Петри все фишки или их часть оказываются не на выходе этой сети, а в тупике, либо, если они циклически двигаются по графу сети Петри, не доходя до ее выхода, то это значит, что реализация данной сети

Петри будет содержать логические некорректности. Заметим, что построение и «проигрывание» сети Петри выявляет лишь логические несообразности в описании реализуемого ею процесса управления, но не обнаруживает действий, ошибочных технологически. Принятие технологически правильных решений остается творческим актом разработчика.

В рассмотренном примере рабочей токарной позиции, описанной И — ИЛИ-графом, изображенным на рис. 6.8, вершинам И — ИЛИ-графа, обозначенным $A_1 \dots A_{19}$, в сети Петри будут соответствовать переходы $T_1 \dots T_{19}$. При этом в проектируемом процессе движения заготовок и обработанных на данной позиции деталей должны быть отмечены следующие состояния:

- P_1 — заготовки в кассете полностью заменены на обработанные детали;
- P_2 — кассета находится на обменной позиции;
- P_3 — устройство ЧПУ загрузочного робота готово к приему текста управляющей программы выгрузки;
- P_4 — загрузочный робот готов к выполнению управляющей программы выгрузки;
- P_5 — обработанная деталь выгружена из патрона шпинделя на тактовый стол;
- P_6 — деталь на тактовом столе готова к перемещению;
- P_7 — тактовый стол закончил перемещение;
- P_8 — устройство ЧПУ загрузочного робота готово к приему текста управляющей программы загрузки;
- P_9 — устройство ЧПУ центрального перегрузочного робота готово к приему текста управляющей программы обмена;
- P_{10} — центральный перегрузочный робот готов к выполнению управляющей программы загрузки;
- P_{11} — центральный перегрузочный робот готов к выполнению управляющей программы обмена, кассета с деталями и заготовками находится на обменной позиции, а тактовый стол закончил перемещение;
- P_{12} — заготовка с тактового стола загружена в патрон шпинделя;
- P_{13} — обработанная деталь с тактового стола установлена в кассету;
- P_{14} — устройство ЧПУ станка готово к приему текста управляющей программы обработки;
- P_{15} — пункт группового управления готов к приему от диспетчерского управления текста управляющей программы обработки новой детали, перегруженной на тактовый стол;
- P_{16} — устройство ЧПУ станка и сам станок готовы к выполнению управляющей программы обработки;
- P_{17} — установлена связь для сеанса между пунктом группового управления и диспетчерским управлением;

- P_{18} — обработка детали окончена;
- P_{19} — все детали кассеты обработаны; переход к состоянию P_{19} определяется в отдельной сети специальной проверкой, которая здесь не приводится, чтобы избежать ненужных подробностей;

- P_{20} — управляющая программа обработки детали, находящейся на тактовом столе, размещена в пункте группового управления.

Граф сети Петри, соответствующей перечисленным состояниям, переходам и условиям, изображен на рис. 6.9. Начальному состоянию соответствует нахождение фишки в позиции P_{18} .

Однако в некоторых случаях описание исходных данных для проектирования многономенклатурной обработки и сборки с по-

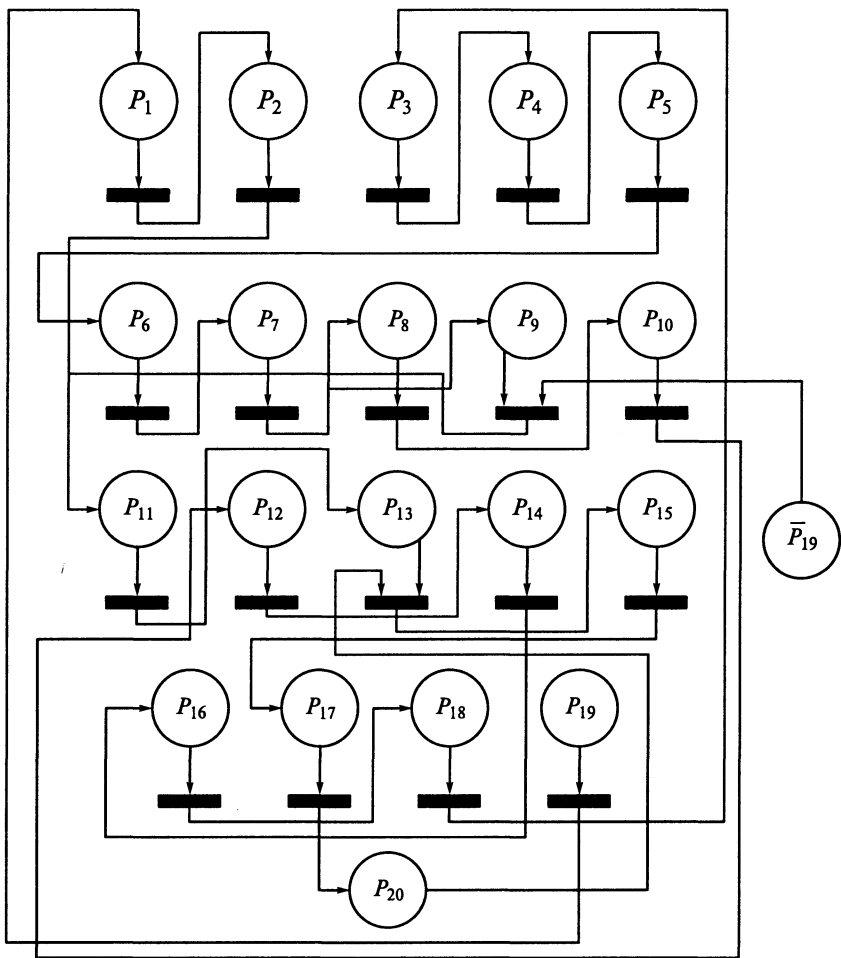


Рис. 6.9. Пример сети Петри управления рабочей позицией

мощью классической сети Петри может оказаться неоднозначным. Для примера рассмотрим простейший случай, когда грузоединица оказывается на столе обмена станков с центральным складом, о чем в систему управления поступает соответствующий сигнал, но реагировать на этот сигнал система управления должна одним из прямо противоположных действий. В самом деле, если грузоединица оказалась на столе обмена в результате того, что ее доставили со склада, то ее нужно отправить на станки. Если же грузоединица была доставлена на тот же стол обмена со станков, то ее нужно отправить на склад.

Избежать подобной неоднозначности можно двумя способами. Первый заключается в том, что просматривается вся цепь событий, приведшая к вызывающему сомнения состоянию системы. Однако здесь возникает вопрос, насколько далеко в прошлое надо заглядывать. Второй способ избежать неоднозначности в трактовке имеющегося описания заключается в том, что фишкам, моделирующим развертывание во времени процесса развития событий, по ходу совершения такого моделирования присваиваются некоторые характерные атрибуты.

Естественно считать, что по мере совершения событий в моделируемой системе движущиеся фишки изменяют свой цвет в зависимости от того, какие переходы «сработали».

Переходы и состояния сети Петри перед ее «проигрыванием» раскрашивают в соответствии с представлениями проектанта о характере протекания моделируемых процессов. Сеть Петри, модифицированную таким образом, называют цветной или раскрашенной, в отличие от обычной монохромной или одноцветной сети Петри.

При «проигрывании» цветной сети Петри необходимо соблюдать следующие правила:

- фишка, первоначально помещенная на какую-либо позицию, приобретает цвет этой позиции;
- фишка, первоначально помещенная на какую-либо позицию, не имеющую цвета, приобретает цвет перехода, встретившегося ей при движении;
- фишка, имеющая цвет, разрешает переход, имеющий тот же цвет;
- фишка, имеющая цвет, приобретает цвет той позиции, на которую она попадает.

Описывая исходные данные для управления перемещением грузоединицы с помощью обычной монохромной сети Петри, следует обозначить факт наличия грузоединицы на столе обмена через P , а через T_1 — доставку ее с обработки, через T_2 — доставку ее со склада, через T_3 — доставку ее на обработку и через T_4 — доставку ее на склад. К позиции P здесь ведут две дуги от переходов T_1 и T_2 , из нее также выходят две дуги, ведущие к переходам

T_3 и T_4 , так что остается неизвестным, какой же из переходов T_3 и T_4 должен «сработать». Если же переходы T_1 и T_3 окрасить каким-либо одним цветом, например красным, а переходы T_2 и T_4 каким-либо другим цветом, например синим, то при соблюдении вышеприведенных правил «проигрывания» цветных сетей Петри подобная неоднозначность исчезает.

Все эти процедуры моделирования и верификации исходных данных для проектирования комплексов многономенклатурной обработки и сборки являются в достаточной степени трудоемкими. Однако, учитывая большую ответственность при разработке системы управления подобными комплексами и большую цену неизбежных ошибок при такой разработке, применение этих методов является вполне оправданным.

6.8. Робототехнические комплексы

Частным случаем комплексов для многономенклатурной обработки и сборки являются *робототехнические комплексы* (РТК). Такие комплексы создаются путем объединения роботов с автоматическими станками.

Под *промышленным роботом* будем понимать автоматическую машину, представляющую собой совокупность манипулятора и перепрограммируемого устройства управления, предназначенную для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций, заменяющих аналогичные функции человека.

Промышленные роботы по принципу своего устройства и конструкции бывают весьма разнообразными. В основу классификации промышленных роботов могут быть положены следующие признаки:

- степень специализации (промышленные роботы могут быть специальными, специализированными, целевыми или универсальными);
- назначение;
- грузоподъемность (различают сверхлегкие промышленные роботы с грузоподъемностью до 1 кг, легкие с грузоподъемностью в пределах 1... 10 кг, средние с грузоподъемностью в пределах 10... 200 кг и тяжелые с грузоподъемностью в пределах 200... 1 000 кг);
- число степеней подвижности;
- возможность передвижения;
- способ установки на рабочее место (различают напольные роботы, подвесные и встроенные);
- используемая система координат (прямоугольная, полярная, цилиндрическая или сферическая);

- разновидности привода и системы управления (гидравлические, пневматические, электромеханические, комбинированные);
- способ реализации и задания программы.

Существуют два способа реализации РТК. Первый способ заключается в использовании автономного промышленного робота, расположенного в непосредственной близости от станков. Второй способ заключается во встраивании промышленного робота в автоматизируемый станок.

В обоих случаях на РТК должны выполняться следующие функции:

- установка заранее ориентированных заготовок в рабочие зоны станков;
- снятие деталей со станков и размещение их в тару;
- кантование деталей на угол 90 или 180°;
- обработка деталей.

Пример РТК представлен на рис. 6.10.

Этот РТК технологически аналогичен группе для токарной обработки, показанной на рис. 6.7. Здесь вместо центрального грузочного робота применен промышленный робот портального типа 3, осуществляющий также и операции транспортировки между станками 1. Сами же станки 1 для токарной обработки вместе с тактовыми столами 2 и устройствами околостаночной механизации размещены параллельно друг другу и являются равноправными устройствами, обслуживаемыми упомянутым промышленным роботом портального типа 3.

В современных РТК промышленный робот выполняет транспортировку заготовок и полуфабрикатов между станками, пере-

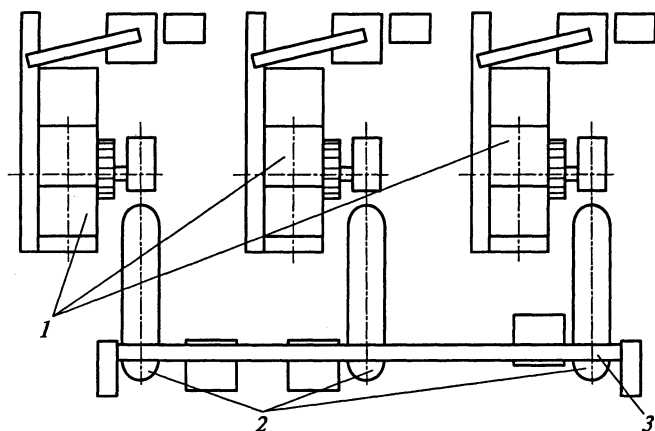


Рис. 6.10. Робототехнический комплекс для токарной обработки:

1 — токарные станки; 2 — тактовые столы; 3 — портальный робот

ориентацию заготовок и полуфабрикатов, установку заготовок и полуфабрикатов в зажимные приспособления, а также очистку баз зажимных приспособлений и пуск станка. Функции наблюдения за работой системы, диагностирование и устранение возникающих неисправностей, а также переналадка системы остаются за человеком-оператором.

Все металлорежущие станки с точки зрения возможности их комплектации промышленными роботами принято подразделять на две разновидности, а именно:

- на станки с горизонтальной осью шпинделя, в которых заготовка должна быть помещена на линию центров;
- станки с вертикальной осью шпинделя, в которых заготовка должна быть помещена выше базовой плоскости, а затем доведена до нее.

Соответствующий промышленный робот должен обладать, как минимум, двумя степенями свободы, выбираемыми из следующих независимых движений, таких как перемещение на тару, перемещение на станок, подъем-опускание, поворот руки робота на 90 или 180°, что и называется *кантованием*. В любом случае должна быть обеспечена также возможность взятия захватывающим устройством заготовки или полуфабриката.

Для создания РТК в настоящее время используются следующие типы промышленных роботов:

- стационарные целевые роботы для загрузки станков с горизонтальной осью шпинделя заранее ориентированными штучными заготовками деталей типа тел вращения; такие роботы обслуживают обычно 1...3 станка;
- стационарные целевые для загрузки станков с вертикальной осью шпинделя или с горизонтальным столом штучными заготовками деталей, в том числе и заготовками (например, черным литьем), которые требуют предварительной установки в приспособления-спутники; такие роботы обслуживают обычно также 1...3 станка;
- передвижные роботы для эксплуатации в составе автоматизированных участков и производств; к этой же разновидности относятся также целевые и универсальные роботы, осуществляющие загрузку оборудования с разнотипными схемами обслуживания; такие роботы обслуживают обычно 2...8 станков.

6.9. Качество систем управления многономенклатурной обработкой и сборкой

Невозможно выделить один какой-либо показатель качества подобных систем. Это значит, что система управления, наилучшая с какой-либо одной точки зрения, может быть вовсе не наи-

лучшей с другой. Поэтому в настоящее время качество предложенных вариантов систем управления комплексами многоэлементами обработки и сборки принято сопоставлять не по одному, а по совокупности показателей, рассчитываемых изначально для структурных компонентов сопоставляемых вариантов.

Показатели качества анализируемых систем принято подразделять на три группы.

К первой группе принято относить показатели пропускной способности анализируемого компонента системы. *Интегральной пропускной способностью* $\delta_n(t)$ оцениваемого компонента системы управления за период времени $(0 \dots t)$ назовем отношение числа запросов $n_o(t)$ от объекта управления, обработанных системой управления, к общему числу запросов $n_n(t)$, поступивших за это время на систему управления от объекта. В формализованном виде

$$\delta_n(t) = n_o(t) / n_n(t).$$

Используется также понятие динамической пропускной способности. *Динамической пропускной способностью* $\delta_d(t)$ оцениваемого компонента системы управления в момент времени t назовем предел отношения числа запросов $n_o(t, t + \Delta t)$ от объекта управления, обработанных системой управления за период времени $(t, t + \Delta t)$, к общему числу запросов $n_n(t, t + \Delta t)$, поступивших за это время на систему управления от объекта, при интервале Δt , стремящемся к 0. В формализованном виде

$$\delta_d(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{n_o(t, t + \Delta t)}{n_n(t, t + \Delta t)}.$$

Между показателями динамической и интегральной пропускной способности анализируемого компонента системы управления существует дифференциально-интегральная зависимость. Это значит

$$\frac{d}{dt} \delta_n(t) = \delta_d(t).$$

Ко второй группе показателей качества анализируемого компонента системы управления будем относить показатели, определяющие время переработки информации данным компонентом анализируемой системы управления. К таким показателям относятся среднее суммарное время $\tau_k^{*об}$, затрачиваемое данным компонентом системы управления на обработку запроса k -го приоритета, а также $\tau_k^{*ож}$ — среднее суммарное время ожидания запросами k -го приоритета обслуживания данным компонентом системы управления.

На основании этих показателей качества анализируемого компонента системы управления можно определить и другие показате-

тели, определяющие время переработки информации данным компонентом анализируемой системы управления. А именно:

- среднее время τ_k^{*np} пребывания в данном компоненте системы управления запроса k -го приоритета

$$\tau_k^{*np} = \tau_k^{*об} + \tau_k^{*ож};$$

- коэффициент K^3 задержки обслуживания запроса k -го приоритета

$$K^3 = \tau_k^{*np} / \tau_k^{*об} = 1 + \tau_k^{*ож} / \tau_k^{*об};$$

- интегральный коэффициент недостатка системного времени K_n^H , представляющий собой отношение суммы средних значений времен пребывания n запросов в анализируемом компоненте системы управления на интервале $(0...t)$ к сумме значений времен обслуживания этих n запросов в анализируемом компоненте системы управления на том же интервале времени; в формализованном виде

$$K_n^H = \left(\sum_{j=1}^n \tau_j^{*np} \right) / \left(\sum_{j=1}^n \tau_j^{*об} \right);$$

- динамический коэффициент недостатка системного времени $K_n^H(t)$ в данный момент t определяемый подобно динамической пропускной способности $\delta_n(t)$ оцениваемого компонента системы управления в момент времени t как предел отношения суммы средних значений времени пребывания n запросов в анализируемом компоненте системы управления на интервале $(t, t + \Delta t)$ к сумме значений времени обслуживания этих n запросов в анализируемом компоненте системы управления на том же интервале времени $(t, t + \Delta t)$ при интервале Δt , стремящемся к нулю; в формализованном виде

$$K_n^H(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\sum_{j=1}^n \tau_j^{*np}(t, t + \Delta t)}{\sum_{j=1}^n \tau_j^{*об}(t, t + \Delta t)}.$$

Между динамическим и интегральными коэффициентами недостатка системного времени существует дифференциально-интегральная зависимость вида

$$\frac{d}{dt} K_n^H(t) = K_n^H(t).$$

К третьей группе показателей качества анализируемого компонента системы управления относится степень его использования с учетом фактора ненадежности.

На интервале времени $(0...t)$ любой агрегат комплекса может находиться в одном из трех возможных состояний:

- в течение суммарного времени $t_{\text{св}}$ он свободен, исправен и готов немедленно приступить к работе по очередному запросу;
- в течение суммарного времени $t_{\text{зар}}$ он исправен и занят работой по обслуживанию поступивших запросов;
- в течение суммарного времени $t_{\text{пр}}$ он находится в простое вследствие неисправностей или планово-предупредительных ремонтов и, хотя он свободен, не готов немедленно приступить к работе по очередному запросу.

В относительном виде это соответствует следующим показателям:

- средний коэффициент готовности $k_r(t) = t_{\text{св}}/t$;
- средний коэффициент загрузки $k_{\text{зар}}(t) = t_{\text{зар}}/t$;
- средний коэффициент простоя $k_{\text{пр}}(t) = t_{\text{пр}}/t$.

По показателям качества, вычисленным для отдельных компонентов систем управления многономенклатурными комплексами обработки и сборки, можно найти показатели качества проектируемой системы управления в целом, если учесть особенности существующих между этими компонентами структурных взаимосвязей.

В реальных системах управления многономенклатурными комплексами обработки и сборки возможны последовательное и параллельное соединения их компонентов.

При последовательном соединении нескольких независимых компонентов подобных систем управления выходящий поток запросов предыдущего компонента полностью поступает на вход последующего компонента. Примером таких компонентов могут служить системы управления каждого уровня иерархических структур. Очевидно, что для такого вида взаимосвязей общая пропускная способность δ_c соединения определится через δ_j пропускные способности составляющих это соединение компонентов следующим образом:

$$\delta_c = \prod_{j=1}^k \delta_j.$$

Что касается временных показателей, то поскольку запрос может поступить на последующий компонент системы управления только после того, как он будет обслужен предыдущим компонентом, соответствующие показатели среднего суммарного времени, затрачиваемого данным соединением на обработку запроса k -го приоритета, а также среднее суммарное время ожидания запросов k -го приоритета обслуживания данным соединением найдутся как суммы соответствующих показателей составляющих компонентов.

Параллельное соединение в реальных системах управления многономенклатурными комплексами обработки и сборки существует в двух разновидностях. В первом случае на входы каждого компонента поступает свой независимый поток запросов, а выходы этих компонентов объединяются. Примером могут служить несколько пунктов группового управления рабочими позициями, подключаемых к общему входу уровня диспетчерского управления. Во втором случае параллельного соединения объединяются не только выходы отдельных компонентов, но и их входы. Тогда запрос, не принятый к обслуживанию j -м компонентом, передается на обслуживание в $(j + 1)$ -й компонент и так далее, пока он не будет обслужен. Примером такого рода является обслуживание потоков запросов на перемещение грузоединиц системой, состоящей из нескольких робототележек.

В первом случае общая пропускная способность δ_c соединения определится через δ_j пропускные способности составляющих это соединение компонентов следующим образом:

$$\delta_c = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j \delta_j}{\sum_{j=1}^n \delta_j},$$

где λ_j — интенсивность потока j -го запроса.

Во втором случае общая пропускная способность δ_c соединения определится через δ_j пропускные способности составляющих это соединение компонентов следующим образом:

$$\delta_c^j = \delta_j + \delta_c^{(j-1)} - \delta_j \delta_c^{(j-1)}.$$

Что касается временных показателей, то обслуживание запроса в эквивалентном соединении может считаться законченным, если в каком-либо компоненте, образующем это соединение, обслуживание данного запроса закончено.

Аналогично можно определить и зависимости для показателей качества третьей группы применительно к различным структурам систем управления многономенклатурными комплексами обработки и сборки.

Рассматривая формулы для расчета эквивалентных общесистемных показателей качества, можно увидеть, что показатели качества подобных систем определяются не только образующими их компонентами, но и характером потока запросов, поступающих от объекта управления на систему. Это значит, что невозможно достигнуть одинаковой эффективности, применяя для различных комплексов производственного оборудования одну и ту же систему управления. Поэтому для каждого производства следует ком-

поновать подобную систему индивидуально, разумеется, в максимальной степени используя типовые решения.

Для использования указанных показателей качества необходимо прогнозировать их значения для компонентов системы управления еще до ее реализации. Очевидно, что это возможно путем использования методов имитационного моделирования, допускающих генерирование случайных потоков запросов с различными законами распределения.

Контрольные вопросы

1. Что называется «открытым» технологическим семейством деталей?
2. Что объединяет разнородное автоматизированное оборудование в единый производственный комплекс?
3. Какие существуют разновидности транспортно-складских систем современных гибких автоматизированных комплексов многономенклатурной обработки?
4. Как в современных гибких автоматизированных комплексах многономенклатурной обработки задается трасса движения транспортного средства и как программируется движение по ней?
5. Что называется пунктом группового управления?
6. Какие компоненты включает в себя автоматизация процесса управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки?
7. Дайте определение названию «чистая процедура».
8. Что относится к числу управляющих числовых массивов?
9. Какая входная информация должна циркулировать между системой управления и рабочими позициями обработки?
10. Какая входная и выходная информация должна циркулировать между системой управления и рабочими позициями контроля качества?
11. Какая входная и выходная информация должна циркулировать между системой управления и транспортно-складской системой?
12. Что означает иерархический принцип построения применительно к системе управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки?
13. Какие подсистемы входят в современную систему управления производственно-хозяйственной деятельностью?
14. Какие подсистемы входят в состав современной системы управления технической подготовки производства?
15. Какая информация поступает на систему управления автоматизированным производством из систем управления производственно-хозяйственной деятельностью и технической подготовки производства и обратно?
16. К чему может привести неадекватный выбор структуры транспортно-складской системы и параметров входящих нее устройств, а также неверная организация обработки соответствующих информационных потоков?

17. Какая информация необходима для взаимодействия пункта диспетчерского управления с бортовой системой управления крана-штабелера?

18. Что определяют объемные планы?

19. Что регламентируют календарные планы-расписания?

20. Какую роль играют терминалы на различных уровнях управления многономенклатурной обработкой в машиностроении?

21. Что такое верификация описания производственного процесса на автоматизируемом комплексе многономенклатурной обработки и сборки?

22. Что представляют из себя И—ИЛИ-графы?

23. Чем отличается классическая одноцветная сеть Петри от раскрашенной?

24. Что такое «проигрывание» сети Петри?

25. Что называется робототехническим комплексом?

26. Какие основные типы промышленных роботов применяются для автоматизации многономенклатурной обработки и сборки?

27. Что относится к показателям пропускной способности проектируемой автоматизированной системы управления производственного процесса многономенклатурной обработки и сборки?

28. Что относится к показателям времени обработки информации в проектируемой автоматизированной системе управления производственного процесса многономенклатурной обработки и сборки?

29. Что относится к показателям степени использования технологического оборудования с помощью проектируемой автоматизированной системы управления производственного процесса многономенклатурной обработки и сборки при учете фактора ненадежности?

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

7.1. Структурный, геометрический и параметрический синтеза изделий машиностроения

Общая схема автоматизированного проектирования изображена на рис. 7.1.

Процесс автоматизированного проектирования устройств (узлов) машиностроения включает в себя следующие стадии:

- анализ технических требований;
- поиск в автоматизированном архиве наиболее близкого аналога, который можно принять за прототип;
- формирование структуры принципиального решения проектируемого узла;
- проектный расчет узла, заключающийся в определении значений его параметров, предварительном моделировании и оптимизации;
- проверочные расчеты значений параметров, уточненное моделирование;
- оформление и выпуск документации технического проекта на проектируемое устройство.

В результате выполнения этих работ формируется *цифровой образ* проектируемого устройства.

Для получения цифровых образов деталей, позволяющих построить их рабочие чертежи и изготовить сами эти детали, необходимо выполнить следующие работы:

- декомпозиция цифрового образа общего вида;
- идентификация образа детали;
- конструирование соответствующей типовой детали;
- дополнение образа в диалоговом режиме соответствующей типовой детали конструктивно-технологическими элементами из имеющейся базы данных;
- конструирование оригинальной детали из унифицированных и вновь создаваемых конструктивно-технологических элементов;
- формирование полной модели рабочего чертежа детали;
- нормоконтроль и контроль на технологичность для полученной модели рабочего чертежа детали.

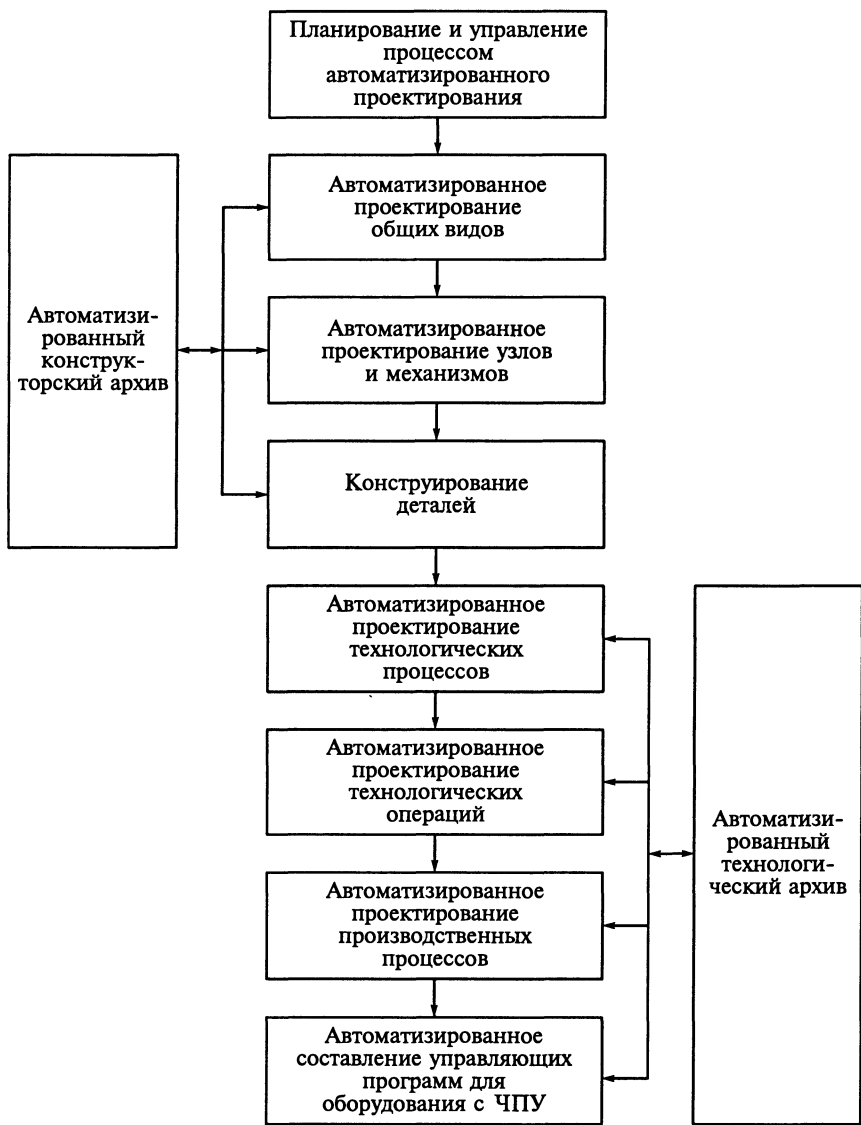


Рис. 7.1. Общая схема автоматизированного проектирования

После выполнения названных работ для спроектированных деталей формируется и выпускается полный комплект технической документации, который может быть помещен в автоматизированный архив.

Наиболее распространенным подходом к структурному синтезу изделия является перебор вариантов. Для сокращения

такого перебора целесообразно применять метод последовательного синтеза, когда компоновка изделия наращивается шаг за шагом, а получаемые при этом промежуточные коды являются частичными. При этом весьма распространенным является режим диалога.

Помимо структурного, выделяется еще и этап геометрического синтеза, проводимый для каждой из синтезированных структур в режиме диалога. Геометрический синтез проводят последовательно для каждой ветви компоновки. Процедура геометрического синтеза включает в себя:

- синтез объемов, соответствующих элементам компоновки;
- предварительное эвристическое определение размеров элементов компоновки;
- размещение синтезированных элементов в пространстве и соединение их;
- объединение всех ветвей компоновки в единый геометрический образ.

Завершающим этапом автоматического проектирования является параметрический синтез изделия, когда оно подвергается многокритериальной параметрической оптимизации. Варьируемыми могут быть различные конструктивные и эксплуатационные параметры изделия, такие как его размерные и весовые характеристики, коэффициент заполнения корпусных деталей, диапазон рабочих режимов, технологичность и др. Эффективным здесь может оказаться метод эвристического перебора вариантов. При этом нужно исходить из знания того, как изменения того или иного параметра изделия отразятся на критериях оптимальности, т.е. следует ли увеличивать или, наоборот, уменьшать соответствующий параметр.

7.2. Автоматизированное конструкторское проектирование

Для автоматизированного конструкторского проектирования используются два основных принципа, а также их различные комбинации. Эти принципы таковы:

1. Принцип *композиции*, когда новые технические объекты создаются путем объединения в единое целое математической модели некоторых узлов и механизмов, образующих элементную базу, причем эти элементы обычно представляют собой иерархические структуры.

2. Принцип *подобия*, когда новые технические объекты создаются путем обобщенного преобразования подобия некоторой заранее сформированной структуры, причем координатами, в которых производится такое преобразование, могут являться раз-

личные физические величины, например геометрические размеры, механические и электрические единицы и др.

Основными понятиями, используемыми при автоматизированном конструировании, являются различные модели и базы.

Моделью называется мысленно представляемая тем или иным способом материально реализованная сущность, которая отображает некоторый объект и способна замещать его таким образом, чтобы благодаря ее изучению можно было получить адекватную информацию о представляемом ею объекте.

Модель считается удачной, если выполняются следующие условия:

- модель демонстрирует поведение и обладает структурой и функциями, подобными таковым у оригинала;
- на основании изучения модели можно обнаружить новые свойства и особенности оригинала.

Все виды моделей подразделяются на изоморфные и гомоморфные.

Изоморфные модели представляют собой полный эквивалент всех поведенческих и морфологических особенностях оригинала.

Для создания и исследования изоморфной модели требуется полное знание моделируемой системы и использование абсолютно адекватных средств моделирования. Поэтому все модели, используемые на практике, следует считать в той или иной степени гомоморфными. Гомоморфные модели представляют собой аналог воспроизводимого объекта лишь в некоторых, но в характерных и определяющих для процесса моделирования отношениях. Прочими же особенностями строения и поведения объекта при построении и исследовании гомоморфных моделей можно пренебречь.

Гомоморфные модели подразделяются на *материальные* и *абстрактно-концептуальные*. Абстрактно-концептуальные модели могут быть символическими и математическими. Символические модели, в свою очередь, подразделяются на логические, графическо-числовые, языковые на основе тезауруса и кодовые. Математические модели могут быть аналитическими или имитационными. Материальные модели, со своей стороны, подразделяются на наглядные предметные, физические макеты, технологические схемы и схемы грузопотоков.

Соответствующая классификация гомоморфных моделей приведена на рис. 7.2.

Символические модели основаны на использовании различных знаков, кодов, слов или массивов чисел, отображающих исследуемый оригинал.

Для автоматизации конструкторского проектирования в основном используются *математические модели*, отображающие объекты



Рис. 7.2. Классификация гомоморфных моделей

конструирования в виде информации, более удобной для дальнейшей обработки.

При построении той разновидности математических моделей, которые называются *аналитическими*, требуется точное знание соотношений, описывающих моделируемый оригинал. Эти соотношения могут быть получены как теоретически на основе имеющихся знаний законов природы и экономики, так и экспериментально путем проведения соответствующих экспериментов, большей частью статистических многофакторных, над моделируемым объектом. Однако здесь имеются затруднения, связанные с тем, что математическая модель объекта как раз и создается для того, чтобы выяснить соотношения, описывающие объект моделирования.

Имитационное математическое моделирование является универсальным методом, который можно использовать даже тогда, когда невозможно получить точное аналитическое описание объекта моделирования. *Имитационное моделирование* — это компьютерное воспроизведение разворачивания во времени процесса функционирования объекта, т.е. его перехода из одного состояния в другое, осуществляемое с однозначно определенными правилами.

Для целей автоматизации конструкторского проектирования в машиностроении наиболее широко применяются следующие виды математических и машинных электронных моделей:

- *критериальные* математические модели, которые содержат информацию о связи технических характеристик объектов конструирования с их конструктивными параметрами. Критериальные модели обычно создаются в виде конечных математических выражений;

- *морфологические* математические модели, которые содержат описания структуры, формы и размеров объектов конструирования. Морфологические математические модели являются обобщением интуитивно ясного понятия геометрической модели. Они обычно реализуются в виде систем алгебраических и тригонометрических уравнений, уравнений дифференциальной геометрии, отношений дискретной математики;

- математическая *модель поведения* объекта конструирования которая описывает кинематику и динамику требуемых движений. Обычной формой представления таких моделей являются системы обыкновенных дифференциальных уравнений и дифференциальных уравнений в частных производных. Эти исходные данные могут быть преобразованы, например, для интерпретации на комплексной плоскости или подвергнуться численному интегрированию.

Между тремя названными типами математических моделей, используемых для автоматизации конструкторского проектирования, существует однозначная зависимость. Так, критериальную математическую модель можно получить из математической модели поведения, заимствуя некоторые исходные данные, например геометрические размеры из морфологической математической модели. Морфологическую математическую модель можно также получить, используя исходные данные математической модели поведения.

Информационные базы. Всякая информационная база состоит из базы данных и базы знаний.

В базе данных содержатся описания используемых конструктивных компонентов в виде их морфологических математических моделей.

В базе знаний содержатся описания правил объединения конструктивных компонентов в единую структуру. Любая такая структура может быть интерпретирована в виде графа, вершины которого соответствуют используемым конструктивным компонентам, а ребра — связям между ними. Для возможности компьютерного представления такой граф может быть описан соответствующей матрицей смежности вершин, матрицей смежности ребер либо матрицей инцидентности.

Используются следующие виды отношений между компонентами, образующими проектируемую структуру:

- отношения *принадлежности*, когда отражается сам факт принадлежности данного компонента к числу компонентов, входящих в данную конструкцию;
- отношения *смежности*, когда отражается факт наличия какой-либо связи, например контакта, соприкосновения и др. между компонентами, входящими в данную конструкцию;
- отношения *взаимодействия*, когда отражается факт не только наличия какой-либо связи между компонентами, входящими в данную конструкцию, но и характер этой связи.

Примером отображения этих отношений могут служить фразы вида:

[Деталь А]/надета (вставлена) на/[деталь В] (с натягом)
(с зазором);

[Деталь А]/приложена к/[детали В] (подвижно) (жестко);

[Деталь А], [деталь В], ..., [деталь К] имеют общую ось.

Для описания отношений принадлежности достаточно базы данных, содержащей перечень конструктивных компонентов.

Для описания отношений смежности следует использовать как базу данных, так и базу знаний в той ее части, где регламентируется принципиальная возможность или невозможность соединения компонентов между собой.

Отношения взаимодействия могут быть описаны только с помощью базы знаний. В такой базе должны храниться описания самих этих отношений в виде *конструкторских правил*.

Пользуясь такого рода соотношениями, число и содержание которых в конкретных условиях может быть расширено, конструктор, обращаясь в диалоговом режиме к базам данных и знаний имеет возможность сформировать структуру проектируемого объекта.

При автоматизированном конструировании деталей могут быть использованы следующие совокупности средств:

- системы авточерчения;
- системы трехмерного геометрического моделирования;
- системы концептуального моделирования.

7.3. Автоматизированное проектирование технологических процессов

Автоматизация проектирования технологических процессов позволяет, во-первых, существенно сократить время, затрачиваемое на выбор заготовки, технологического оборудования, инструмента и оснастки, на разработку маршрутной и операционной технологий и схем базирования, на расчет режимов резания и

др., а во-вторых, существенно повысить качество получаемых при этом проектных решений, оптимизировать режимы резания, применить технически обоснованные нормативы, повысить уровень унификации и нормализации, а также высвободить значительное число высококвалифицированных специалистов.

В настоящее время с помощью автоматизации проектирования технологических процессов удастся выполнять следующие основные функции:

- расчет и выбор заготовок, в том числе заготовок из проката, поковок, штамповок литья, а также заготовок, полученных сваркой;

- проектирование маршрутной технологии, выбор способов обработки и соответствующего технологического оборудования, типов приспособлений;

- проектирование операций и переходов, определение последовательностей переходов внутри операций, выбор режущего, вспомогательного и мерительного инструментов, расчет припусков на обработку, определение числа проходов и др.;

- определение режимов резания, производя при этом проверку требуемой и наличной мощности, а также оптимизацию режимов по критерию максимума производительности либо минимума себестоимости;

- техническое нормирование переходов, операций и технологического процесса в целом, включая определение основного, вспомогательного и штучного технологического времени;

- оформление технологической документации согласно требованиям действующих стандартов и вывод этой документации в читабельной форме на печать или видеотерминалы;

- создание и сопровождение технологической информационной базы, т.е. выполнение операций ввода и адресования данных, просмотра и корректировки этой информационной базы, а также ряда сервисных функций.

С точки зрения возможностей автоматизации следует различать следующие разновидности технологических процессов:

- типовой технологический процесс;
- унифицированный технологический процесс;
- единственный технологический процесс.

Типовой технологический процесс обычно связан с изготовлением стандартных или типовых деталей. Типовые технологические процессы имеют фиксированную структуру, т.е. фиксированные число и последовательность переходов, но нефиксированные числа рабочих ходов и их величины, технологические режимы, материальные и трудовые нормы и т.п.

Унифицированный технологический процесс обеспечивает изготовление детали, относящейся к одной и той же группе, но характеризующейся наличием всех возможных кон-

структивных элементов. Рабочий технологический процесс в этом случае формируется из унифицированного технологического процесса удалением лишних элементов. Значения технологических параметров в этом случае назначаются так же, как и в случае типового технологического процесса. Обычно, в унифицированных технологических процессах используются одни и те же инструменты и оснастка, поскольку такие процессы ориентированы на группу деталей.

Единичный технологический процесс используется для изготовления оригинальных деталей. При проектировании единичных технологических процессов необходимо обеспечить, не снижая производительности обработки, требуемое качество и точность обработки отдельных элементов детали, а также точность их взаимного расположения.

В настоящее время при автоматическом проектировании технологических процессов применяются два подхода.

При первом подходе используются методы *системно-структурного синтеза* технологических процессов. Эти методы заключаются в том, что создается некоторая изображаемая древовидным графом технологическая теория, которая позволяет, базируясь на соответствующих технологических теоремах, синтезировать процедуру построения и оптимизации проектных решений, касающихся конкретных технологических процессов, по принципу «сверху вниз». На базе таких умозрительных концепций создаются алгоритмы и программы, реализующие на компьютерах многоуровневую итерационную процедуру автоматического проектирования конкретного технологического процесса.

Второй подход основывается на обобщении имеющегося технологического опыта. Методы, использующие такого рода подход, являются *типизационными*. Такие методы имеют различные названия: методы создания моделей технологического проектирования, методы многоуровневой типизации, методы составления обобщенных маршрутов, методы использования технологических массивов и др. Сущность подобного подхода состоит в том, что технологический опыт обработки деталей в различных производственных условиях определенным образом формализуется и на основе такой формализации создается обобщенный технологический алгоритм.

Для разработки подобного обобщенного технологического алгоритма детали, технологические процессы обработки которых должны будут проектироваться с его помощью, должны характеризоваться определенной степенью конструктивно-технологического подобия. Далее для деталей-представителей составляются технологические процессы, которые затем типизируются исходя из допустимых вариаций конструктивно-технологических параметров.

Разновидности деталей, для которых могут быть разработаны типовые технологические процессы, приведены на классификационной схеме рис. 7.3.

В настоящее время существуют системы компьютерного проектирования технологических процессов, характеризующиеся различным уровнем автоматизации. В простейшем случае дело сводится к автоматизации отдельных фрагментов проектирования технологического процесса. К ним относятся:

- оформление и выпуск технологической документации;
- расчет режимов резания и техническое нормирование;
- расчет потребности в режущем инструменте;
- расчет припусков, допусков и напусков для заготовок;
- укрупненное проектирование маршрутной технологии.

Такие системы представляют собой человекокомпьютерные комплексы, в которых вычислительная техника используется для решения отдельных частных задач, в том числе из названных ранее. Их принято называть *механизированными* системами технологической подготовки.

Более совершенными являются такие системы автоматизированного проектирования технологических процессов, в которых компьютеризируются не только расчетные и оформительские операции, но и логические функции, возникающие при формировании технологических процессов обработки конкретных деталей. Эти системы принято называть *автоматизированными*.

Для автоматизированных систем обычными являются следующие функции:

- формирование маршрута обработки;
- выбор оборудования и оснастки;
- для каждой операции определение технологических переходов и последовательности их выполнения;
- выбор режущего, вспомогательного и измерительного инструмента;
- расчет для каждого перехода режимов резания, определение числа проходов, размеров обрабатываемых поверхностей, а также величин рабочих ходов;
- техническое нормирование переходов и операций;
- распечатка карт технологической документации.

Следовательно, для автоматизированных систем компьютеризированного проектирования технологических процессов требуется задавать значительно меньший объем исходных данных по сравнению с механизированными.

Следующим шагом в повышении степени совершенства автоматизированных систем компьютеризированного проектирования технологических процессов явилось создание диалоговых систем такого рода, у которых действия технолога и компьютера выполняются во взаимосвязи и определяют друг друга. Такие системы

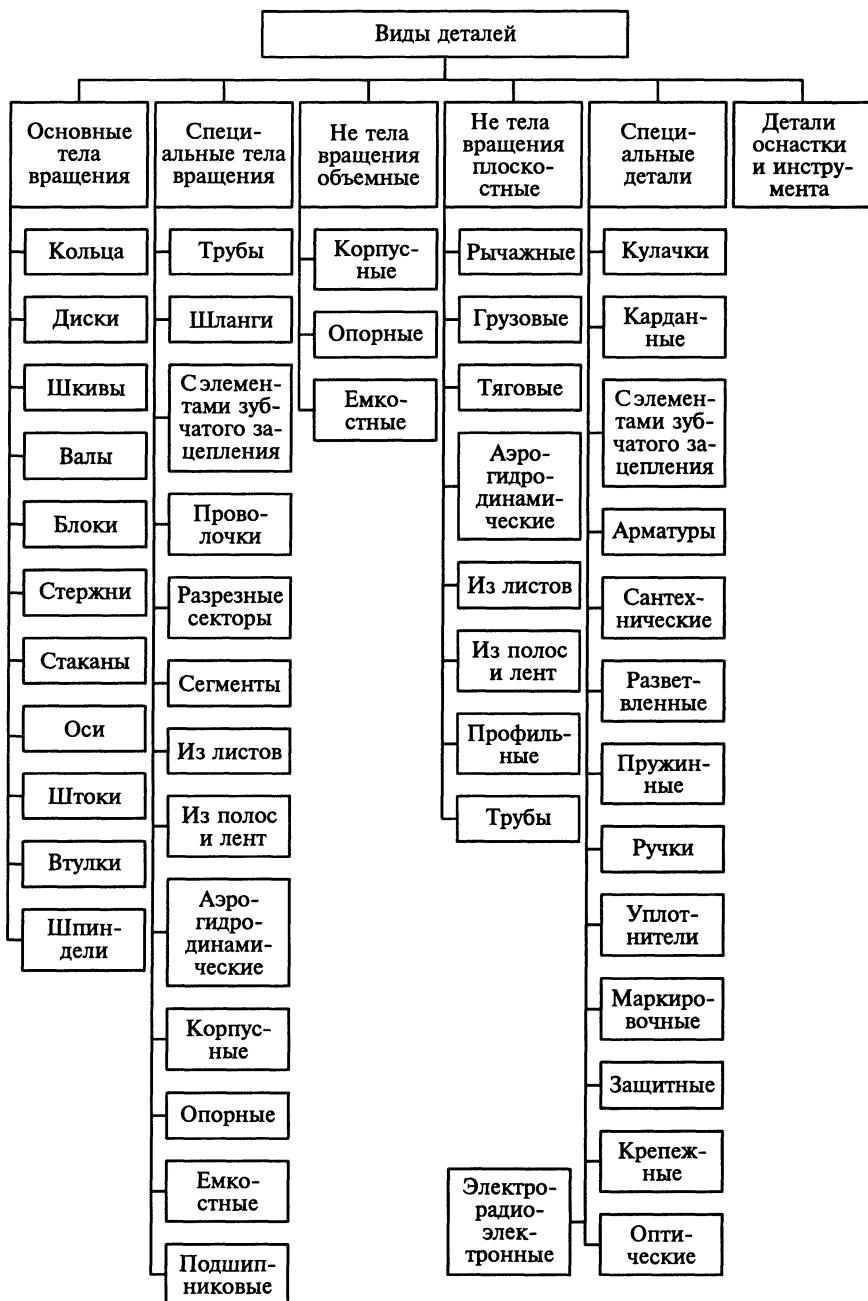


Рис. 7.3. Классификация деталей машиностроения

называются *интерактивными* системами автоматизированной технологической подготовки производства.

Диалоговый, иначе называемый интерактивным, принцип построения автоматизированных систем компьютеризированного проектирования технологических процессов считается наиболее полно соответствующим современным требованиям разработки технологической и нормативной документации.

Такой принцип построения автоматизированных систем проектирования технологических процессов основан на обращении к базе данных, которая в общем случае представляет собой совокупность распределенных баз:

- баз данных, содержащих сведения о технологических операциях и переходах, об используемом на предприятии оборудовании, оснастке и инструменте;
- баз данных по используемым материалам;
- архив технологических документов;
- баз данных по готовым технологическим решениям.

Кроме этих баз данных должна иметься и система управления базами данных, обеспечивающая выполнение следующих функций:

- создание и ведение баз данных с синтаксическим и логическим контролем и с возможностями оперативной корректировки;
 - замену, удаление и введение элементов указанных баз данных;
 - сервисное обслуживание пользователя в процессе автоматизированного технологического проектирования.
- При работе диалоговой системы технологической подготовки производства должны решаться следующие задачи:
- назначение заготовки с расчетом норм расхода и коэффициента использования материала;
 - выбор технологических операций;
 - назначение оборудования для реализации выбранных операций, а также выбор технологической оснастки;
 - формирование технологических процессов как последовательности выбранных операций;
 - назначение по переходам режущего, мерительного и вспомогательного инструмента;
 - назначение кода профессии оператора;
 - расчет технических норм на операцию;
 - оперативная корректировка полученной технологии;
 - вывод спроектированной технологии на печатающее устройство или на видеотерминал.

Само собой разумеется, что такого рода система должна быть настроена на условия конкретного предприятия, вид выходных форм и используемую базу данных.

Нормированию для автоматизированной технологической подготовки подлежат следующие операции:

- токарно-винторезная;
- токарно-карусельная;
- продольно-строгальная;
- поперечно-строгальная;
- долбежная;
- вертикально-сверлильная;
- радиально-сверлильная;
- вертикально-фрезерная;
- горизонтально-фрезерная;
- продольно-фрезерная;
- фрезерно-центровальная;
- зубофрезерная;
- зубодолбежная;
- зубострогальная;
- зубозакругляющая.

Финишные операции рассматриваются и нормируются отдельно.

7.4. Автоматизированное проектирование диспетчерского управления

Диспетчерское управление обеспечивает протекание производственного процесса в соответствии с плановыми заданиями.

С этой целью на уровне диспетчерского управления для работы с *плановыми заданиями* необходимо осуществлять следующие алгоритмы:

- ввод плановых заданий в том или ином формате и формирование в управляющем компьютере массива плановых заданий;
- занесение в массив плановых заданий сведений с рабочих позиций о ходе выполнения этих плановых заданий;
- формирование и передача для рабочих позиций сведений по плановым заданиям и ходу их выполнения;
- определение по плановым заданиям очередной детали, подлежащей обработке;
- редактирование плановых заданий и оперативное внесение в них требуемых изменений;
- формирование и визуализация отчетных и справочных сведений по выполнению плановых заданий.

Для работы с *автоматизированными транспортно-складскими системами* на уровне диспетчерского управления необходимо осуществлять следующие алгоритмы:

- регистрация поступившей на АТСС тары с заготовками, приспособлениями и инструментальными комплектами;
- учет данных об их размещении;
- выработка директив для движения крана-штабелера;

- выработка директив для подачи грузоединиц на рабочие позиции и на их возвращение;
- выработка директив на выгрузку готовых деталей;
- формирование и выдача справочных данных по состоянию ячеек склада, списку свободных, забронированных ячеек и занятых ячеек с дифференциацией по типу хранящейся грузоединицы, местонахождению заданных грузоединиц и т. п.

Для ведения *инструментального хозяйства* на уровне диспетчерского управления необходимо осуществлять следующие алгоритмы:

- учет поступления и наличия инструмента и оснастки;
- регистрация перемещения и использования инструмента и оснастки;
- учет расхода инструмента и оснастки;
- формирование и визуализация сведений о наличии, состоянии и использовании инструментов и оснастки.

Работа диспетчерского управления с пунктами *группового управления* рабочими позициями обеспечивается алгоритмами связи с каталогом библиотеки управляющих программ для оборудования ЧПУ, в результате чего происходит поиск и выдача или, наоборот, запись соответствующей управляющей программы, а также вывод указанной управляющей программы на тот или иной терминал диспетчерского уровня. Работа с управляющими программами осуществляется компьютером диспетчерского уровня в соответствии с массивами плановых заданий под управлением соответствующих алгоритмов связи. Этими алгоритмами определяются такие величины, как номера текущей и следующей партии обрабатываемых деталей и соответствующих управляющих программ, число годных, забракованных и запланированных деталей и т. п.

Взаимодействие диспетчерского управления с *рабочими местами* обеспечивается следующими алгоритмами:

- управление сбором данных с датчиков, расположенных на технологическом оборудовании;
- прием сообщений с рабочих мест о состоянии этих рабочих мест;
- прием и формирование данных о ходе производственного процесса на рабочих местах.

Алгоритмы диспетчерского управления для каждого конкретного производства отличаются между собой в частности в зависимости от числа и типов технологических агрегатов, конструкции АТСС и организации операций транспортировки, назначенных приоритетов, установленных протоколов обмена, применяемых средств комплексирования и др.

Однако независимо от имеющихся различий, характерных для конкретных автоматизируемых производств, алгоритм диспетче-

рования во всех случаях должен обеспечивать выполнение последовательного опроса информационных сигналов, поступающих с производства, производить анализ однозначно определяемой внутренними состояниями компьютерных массивов ситуации, в которой эти сигналы поступают, и вырабатывать команды передачи управления соответствующим функциональным операторам в зависимости от результатов этого анализа и от комбинаций поступивших с производства сигналов.

Информационно-программное взаимодействие в цикле оперативного управления изображено на рис. 7.4.

Алгоритм диспетчерования можно рассматривать как абстрактный конечный автомат, т. е. как автоматическое устройство, имеющее конечное число состояний, каждое из которых характеризуется конечным числом дискретных значений характерных для этого состояния параметров. В нашем случае каждый параметр характеризуется двумя значениями: «включено» и «выключено», а число возможных состояний всего алгоритма определяется тем производством, которое этот алгоритм диспетчерует, но является конечным, хотя может оказаться и достаточно большим. В таком случае можно автоматизировать процесс проектирования такого алгоритма, привлекая для этого регулярные методы.

Синтез алгоритма диспетчерования с помощью тех или иных регулярных методов позволит избежать влияния субъективного фактора и исключить ошибки проектирования.

Вопрос заключается в том, чтобы, опираясь на верифицированное описание алгоритма диспетчерования, заданного в словесной форме на русском или на каком-либо проблемно-ориентированном языке, тем или иным регулярным способом перейти к его граф-схеме, которая может быть непосредственно использована для программирования.

Для получения такой граф-схемы алгоритма диспетчерования будем использовать *графоаналитический* метод синтеза переключаемых схем, получивший название *канонического*. Для большей наглядности, не нарушая общности, будем вести изложение на конкретном примере.

Положим, что входные сигналы, поступающие на диспетчерский уровень, и выходные сигналы, вырабатываемые им в ответ на эти сигналы в различных ситуациях, перечисляются следующим образом.

Входными в данном случае являются сигналы, обозначенные буквенными символами X с различными индексами, а именно:

X_1 — сигнал готовности к работе данной единицы технологического оборудования;

X_2 — запрос на управление данной рабочей позицией от пункта группового управления;

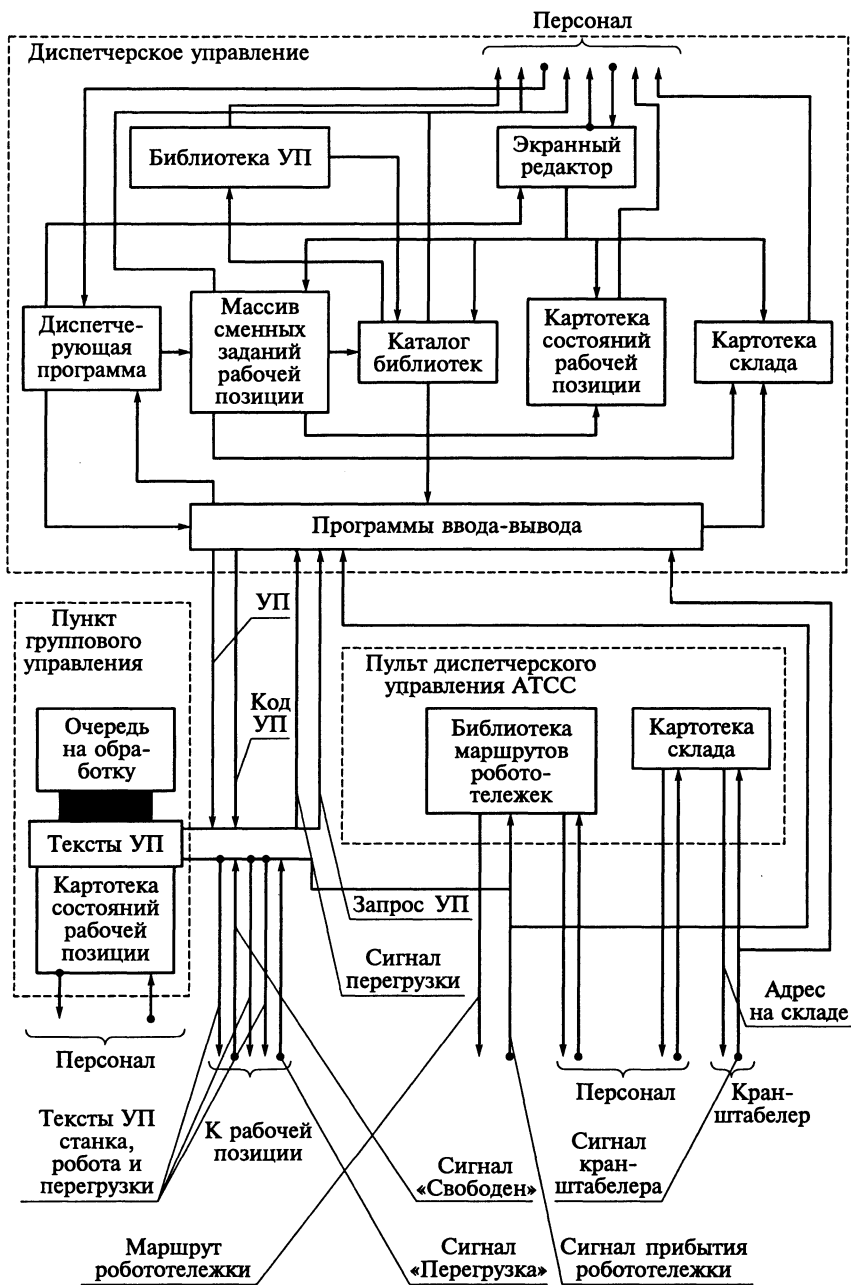


Рис. 7.4. Информационно-программное взаимодействие в цикле оперативного управления

X_3 — сигнал готовности к работе библиотеки управляющих программ для оборудования с ЧПУ;

X_4 — сигнал о сформированности массива плановых заданий;

X_5 — сигнал о выполнении загрузки склада;

X_6 — сигнал о завершении запланированной инструментальной подготовки;

X_7 — сигнал начального пуска;

X_8 — сигнал «станок свободен»;

X_9 — сигнал о том, что деталь перегружена на локальный накопитель;

X_{10} — сигнал о том, что грузоединица доставлена к рабочей позиции;

X_{11} — сигнал о том, что инструментальный комплект, необходимый для обработки данной детали, доставлен к рабочей позиции;

X_{12} — запрос смены режимов на автономную работу данной позиции;

X_{13} — запрос смены режимов на централизованное управление работой данной позиции;

X_{14} — данные о состоянии единицы технологического оборудования.

Выходными сигналами в данном случае являются операторы, обозначенные буквенными символами A (*англ.* action — действие), с различными индексами:

A_1 — сигнал на запрос о состоянии готовности;

A_2 — сигнал о передаче управления пункту группового управления;

A_3 — сигнал о визуализации сообщения о возникшей нештатной ситуации;

A_4 — сигнал о передаче управления на комплекс действий, осуществляющих запрос в плановом задании;

A_5 — сигнал о поиске адреса в картотеке склада;

A_6 — сигнал о поиске управляющей программы в библиотеке с целью выдачи ее пункту группового управления;

A_7 — сигнал о передаче управления пункту группового управления;

A_8 — сигнал об автоматическом поиске запросов на диспетчерское решение.

В формализованном виде связь между входными данными и требуемой реакцией на них в различных условиях алгоритма диспетчерования будем задавать в виде *характеристических таблиц*. Для совокупности $m + 1$ функциональных операторов $A_{0...m}$, в данном случае для $A_{0...8}$, и для n входных дискретных сигналов $X_{1...n}$, в данном случае для $X_{1...14}$, составляются $m + 1$ характеристических таблиц, в рассматриваемом случае — 9, отражающих представления разработчика о том, как в той или иной ситуации алгоритм

диспетчерования должен реагировать на различные комбинации входных сигналов. Каждая из подобных характеристических таблиц содержит n столбцов для переменных $X_{1...n}$ и один столбец N , содержащий индексы при операторе $A_{0...m}$. Столбец N указывает на то, какой именно из операторов $A_{0...m}$ следует в данной ситуации выполнять в ответ на то или иное сочетание входных сигналов $X_{1...n}$. В эти таблицы включаются только те переменные, которые в данной ситуации влияют на переход от выполняемого оператора к другому. Такие переменные можно не учитывать. Однако строки, содержащие такие сочетания учитываемых аргументов, которые при определенных сочетаниях остальных учитываемых аргументов не оказывают влияния на выбор следующего оператора, но оказывают влияние на этот выбор при других сочетаниях остальных учитываемых аргументов, из исходных характеристических таблиц не исключаются. Те же значения аргументов, которые в данной строке не оказывают влияния на выбор следующего оператора, заменяются прочерками. Подобная таблица, содержащая K столбцов логических аргументов, называется таблицей K -го порядка.

Пример подобных исходных характеристических таблиц для данного случая изображен на рис. 7.5. Здесь табл. B_1 показывает, что если система послала на агрегаты запрос на проверку состояния готовности, т.е. выполняется оператор A_1 , то при поступлении запроса на передачу управления пункту группового управления проверяются сигналы, подтверждающие готовность и наличие требующихся инструментальных комплектов, и в случае получения такого подтверждения независимо от поступления каких-либо иных сигналов это разрешение выдается. В качестве еще одного наглядного примера можно назвать табл. B_7 (см. рис. 7.5), которая говорит о том, что если управление было передано пункту группового управления, то независимо от каких-либо внешних сигналов система должна приступить к поиску запросов на диспетчерское решение.

Заметим, что в рассматриваемом случае ряд входных переменных, а именно X_8 , X_9 , X_{12} и X_{14} , а также выходной функциональный оператор A_7 представляют собой многокомпонентные величины, относящиеся к группе однотипного оборудования. Единица, размещенная в столбце характеристической таблицы, относящемуся к данному аргументу, обозначает наличие сигнала от одного станка этой группы. Соответственно символ 7, размещенный в строке характеристической таблицы, в которой появляется данная единица, обозначает переход к выполнению оператора A_7 именно данным станком.

Построив исходные характеристические таблицы и отразив в них представления разработчика о причинно-следственных связях при диспетчеризации производственного процесса, можно перейти

A_0	X_7	N
	1	1
	0	0

A_1	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	N
	1	1	-	-	-	1	2
	1	0	1	1	1	1	8
	1	0	-	-	0	1	2
	1	0	-	0	-	1	2
	1	0	0	-	-	1	2
	-	-	-	-	-	0	3
	0	-	-	-	-	1	1

A_2	X_7	X_3	X_4	X_5	X_6	X_{13}	N
	1	1	1	1	1	1	8
	0	-	-	-	-	-	2

A_3	X_7	N
	1	1
	0	0

A_4	N
	8

A_5	N
	4

A_6	N
	8

A_7	N
	8

A_8	X_2	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{14}	N	
	-	-	1	-	-	-	-	6	
	-	0	-	1	0	-	-	3	
	-	0	-	0	1	-	-	3	
	-	0	-	1	1	-	-	3	
	1	0	0	0	0	-	1	2	
	1	1	0	0	0	-	1	2	9:8,2
	1	1	0	0	0	-	0	2	2:2,2
	1	0	0	0	0	-	0	8	
	-	1	0	1	0	-	-	4	
	-	1	0	0	1	-	-	8	
	0	1	0	0	0	0	0	5	
	0	1	0	0	0	1	1	7	
	0	0	0	0	0	-	-	8	

Рис. 7.5. Характеристические таблицы с исходными данными для синтеза алгоритма диспетчерования

к формализованному построению регулярными методами граф-схемы алгоритма диспетчерования. Такое построение осуществляется в три этапа.

На первом этапе производится понижение порядков исходных характеристических таблиц, т. е. последовательное исключение из рассмотрения исходных логических переменных и разбиение по-

лучаемых таблиц на кусты. Кустом в данном случае называют пару номеров того или иного столбца характеристической таблицы, соединенных с определенным номером предыдущего столбца парой отрезков прямых.

На втором этапе из соответствующим образом построенных кустов формируются *канонические графы*.

На третьем этапе на основании полученных канонических графов формируется *граф-схема алгоритма* диспетчерования.

Характеристические таблицы понижающихся порядков строят последовательно, соблюдая следующие правила.

Строки исходной таблицы, у которой значения логических переменных за исключением последнего столбца одинаковы, группируются попарно. Такая пара строк называется полным комплектом. Из индексов j_k и j_l , находящихся в столбце N в строках k и l , образующих полный комплект, составляется куст. Для этого к характеристической таблице, порядок которой собираются понизить, справа пристраивают изначально свободный столбец. В этом столбце записываются индексы k и l сверху вниз в порядке возрастания последнего, т. е. крайнего правого аргумента. Вершина куста обозначается первым свободным номером. Например, в характеристической табл. B_8 на рис. 7.5 полный комплект образуют строки $10\ 000 - 0$ и $10\ 000 - 1$. Этому комплекту соответствуют выходные вершины 8 и 2. Таким образом, этот куст обозначается кодом 9:8,2, что и записывается в свободном столбце, пристроенном справа к табл. B_8 (см. рис. 7.5).

При выборке полных комплектов из характеристической таблицы могут встретиться такие случаи:

1) одна из строк таблицы отличается от другой лишь тем, что вместо определенного значения, 0 или 1, какого-либо аргумента в ней стоят прочерки. В этом случае строку с определенными значениями аргументов следует просто вычеркнуть;

2) одни строки отличаются последним аргументом, другие имеют прочерк в разных столбцах. В этом случае строки с прочерками следует заменить наборами строк, где вместо прочерков стоят все возможные сочетания 0 и 1. Полные комплекты строк следует искать в такой видоизмененной таблице;

3) на месте последнего аргумента стоит прочерк. В этом случае данная строка сама по себе представляет полный комплект;

4) в таблице не оказалось строк, образующих полные комплекты. В этом случае каждая из имеющихся строк сама по себе является полным комплектом.

Выявив в характеристической таблице полные комплекты строк, можно перейти к уменьшению порядка этой таблицы, т. е. к последовательному исключению из рассмотрения ее логических аргументов. Во время этой процедуры сохраняются $n - 1$ столбцов, соответствующих первым аргументам строк, образующих полный

комплект. Вместо столбца последнего аргумента создается новый столбец, в который заносятся номера вершин кустов, образованных при объединении строк полного комплекта.

В качестве примера на рис. 7.6 приводятся подобные таблицы порядков, понижающихся с 6-го до 1-го, полученные по этим правилам из исходной характеристической табл. B_8 (см. рис. 7.5) 7-го порядка. Получив характеристические таблицы последовательно понижающихся порядков, можно перейти к построению на их

X_2	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	N	
-	-	1	-	-	-	6	10:5,7
1	0	0	0	0	-	9	
1	1	0	0	0	-	2	
-	1	0	1	0	-	4	
-	1	0	0	1	-	8	
0	1	0	0	0	0	5	
0	1	0	0	0	1	7	
-	0	-	1	0	-	3	
-	0	-	0	1	-	3	
-	0	-	1	1	-	3	
0	0	0	0	0		8	

X_2	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	N	
-	-	1	-	-	6	12:2,4
1	0	0	0	0	9	11:10,8
1	1	0	0	0	2	
-	1	0	1	0	4	
-	1	0	0	1	8	
0	1	0	0	0	10	
-	0	-	1	0	3	
-	0	-	0	1	3	
-	0	-	1	1	3	
0	0	0	0	0	8	

X_2	X_8	X_9	X_{10}	N	
-	-	1	-	6	13:9,3
1	0	0	0	9	14:8,3
1	1	0	0	12	
0	1	0	0	11	
1	0	0	1	3	
0	0	0	1	3	
0	0	0	0	8	

X_2	X_8	X_9	N	
-	-	1	6	15:12,6
1	0	0	13	16:11,6
0	0	0	14	17:13,6
1	1	0	12	18:14,6
0	1	0	11	

X_2	X_8	N	
1	1	15	19:17,15
1	0	17	
0	1	16	20:18,16
0	0	18	

X_2	N	
1	19	21:20,19
0	20	

Рис. 7.6. Характеристические таблицы понижающихся порядков

основе канонических графов. Построение канонических графов производится по следующим правилам.

Из исходных характеристических таблиц выписывается верхняя строка, определяющая выбор существенных аргументов и порядок их расположения. Под крайним левым аргументом располагаем входную вершину куста таблицы последнего 1-го порядка. Выходные вершины этого куста располагаются под вторым слева логическим аргументом. Они отождествляются с входными вершинами кустов, записанных в таблице 2-го порядка, и так далее до построения кустов исходной характеристической таблицы.

Пример построения канонических графов для рассматриваемого случая приводится на рис. 7.7.

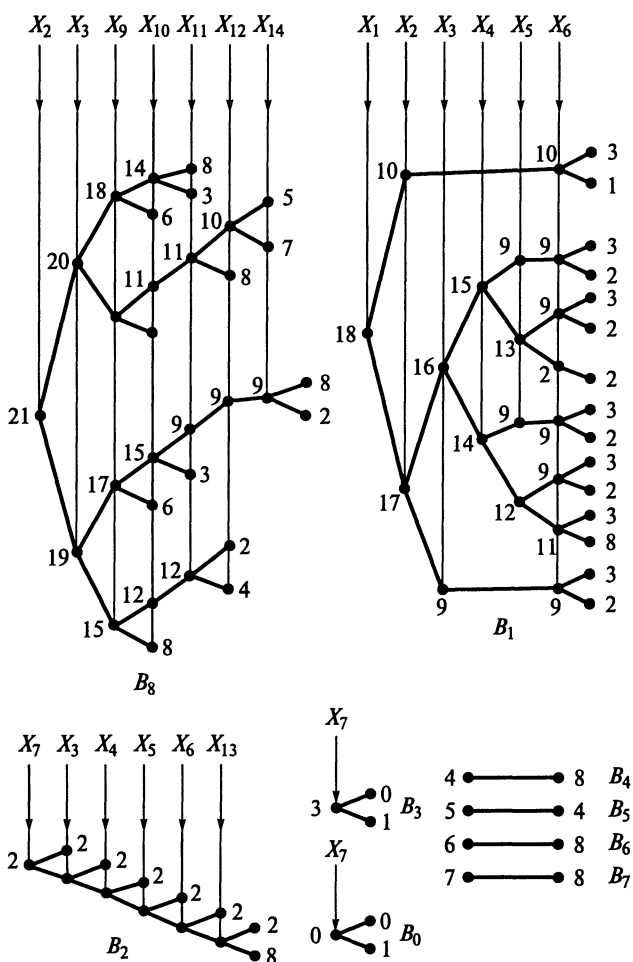


Рис. 7.7. Канонические графы алгоритма диспетчерования

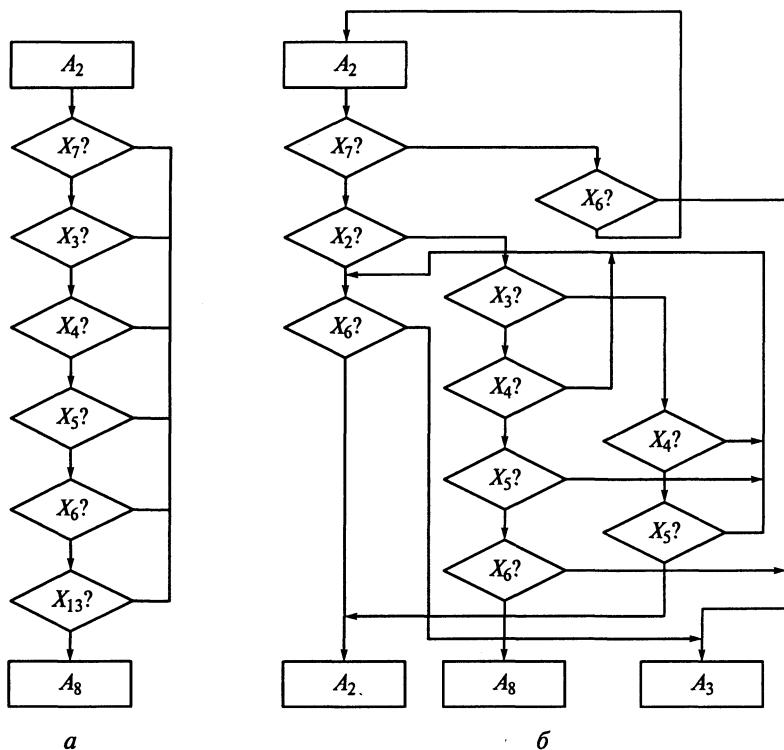


Рис. 7.8. Граф-схемы диспетчерования в режимах группового управления и поиска запросов на диспетчерское решение:

a — граф-схема диспетчерования в режиме группового управления; *б* — граф-схема диспетчерования в режиме поиска запросов на диспетчерское решение

Наконец, построив канонические графы диспетчерования, можно перейти от них к блок-схемам синтезируемых алгоритмов. Правила этого перехода таковы. Куст, располагаемый под каким-либо логическим аргументом, соответствует операции условного перехода по наличию внешнего сигнала, соответствующего данному логическому аргументу. Ветвь куста, направленная на каноническом графе вниз, будет соответствовать ветви «ДА» на синтезируемой граф-схеме, а ветвь куста, направленная на каноническом графе вверх, будет соответствовать ветви «НЕТ» на синтезируемой граф-схеме. Одинаковые кусты объединяются. Номера, расположенные на выходных вершинах графа, заменяются операторами A , у которых эти номера являються индексами.

Примеры таких граф-схем алгоритмов, построенных для исходной характеристической табл. B_2 (см. рис. 7.5), определяющей поведение системы управления производственным участком в ре-

жиме группового управления, и для исходной характеристической табл. B_8 (см. рис. 7.5), определяющей поведение системы управления производственным участком в режиме автоматического поиска запросов на диспетчерское решение, приведены на рис. 7.8.

На рис. 7.8, *а* показана граф-схема диспетчерования в режиме группового управления, а на рис. 7.6, *б* — граф-схема диспетчерования в режиме поиска запросов на диспетчерское решение.

Построенные таким регулярным образом граф-схемы отдельных алгоритмов диспетчерования, характерных для специфических ситуаций, могут быть объединены через общие для них функциональные операторы.

Назначение приоритетов, что весьма важно с точки зрения разрешения конфликтных ситуаций, возникающих при протекании любого реального производственного процесса, остается творческим актом разработчика.

7.5. Автоматизированная разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ

В управляющих программах для оборудования с ЧПУ обработка детали задается в виде массивов чисел, включая:

- технологические команды, определяющие выбор инструмента, задание скорости шпинделя и величину подачи, включение-выключение подачи и т. п.;
- геометрические команды, определяющие перемещение рабочего органа относительно детали по некоторой траектории, в том числе и контролируемой непрерывно;
- подготовительные команды, служащие для управления самим устройством ЧПУ и задания режимов его работы;
- вспомогательные команды, служащие непосредственно для управления включением и выключением механизмов станка.

Каждая команда представляет собой совокупность символов и цифр, доступных пониманию технолога-программиста станков с ЧПУ. Управляющая программа для станка с ЧПУ по существу не является программой работы устройства ЧПУ, поскольку она не изменяет алгоритмы и последовательность обработки информации этим устройством. Она является определенным образом формализованной записью исходных данных для работы этого устройства, приводящих при неизменной процедуре их обработки к различным результатам.

К любому станку с ЧПУ прилагается инструкция по его программированию, являющаяся руководством для технолога-программиста по кодированию действий, совершаемых данным стан-

ком с ЧПУ при реализации процесса обработки той или иной детали. Например, унифицируются начало и конец как программы в целом, так и каждого кадра, указывается способ нумерации кадров программы, оговаривается формат и структура кадра.

Для *кодирования* буквенных символов и чисел в управляющих программах для оборудования с ЧПУ применяются различные унифицированные коды. Самым распространенным из них является требующий для изображения одного символа семи двоичных разрядов код, разработанный международной организацией по стандартизации ISO, который так и называется «код ISO-7bit». Европейский код EIA используется значительно реже. Коды ISO и EIA легко преобразуются друг в друга, но в технических характеристиках устройств с ЧПУ обычно указывается, для какого именно кода или для обоих кодов предназначено данное устройство. Это не следует упускать из виду при принятии решения об использовании того или иного устройства ЧПУ.

При составлении текстов кадров управляющих программ для оборудования с ЧПУ используется *адресный принцип*, когда адресом называют буквенный символ, определяющий, куда именно будет направлена и каким образом будет использована непосредственно следующая за ним *числовая информация*, называемая под-адресным выражением.

Таких адресов в коде ISO-7bit существует несколько:

- *N* — номер кадра управляющей программы;
- *X, Y, Z* — геометрическая информация, определяющая перемещения по указанным координатным осям;
- *G* (*англ.* government — управление) — для подготовительной информации. Например, G00 — быстрый ход, G01 — линейная интерполяция и др.;
- *M* (*англ.* machine-tool — станок) — для вспомогательных команд;
- *S* (*англ.* spindle — шпиндель) — для задания оборотов шпинделя;
- *F* (*англ.* feed — подача) — для задания величины подачи;
- *T* (*англ.* tool — инструмент) — для выбора того или иного инструмента и др.

При составлении текстов *управляющих программ* используются следующие основные понятия:

- нулевая точка детали (на производственном сленге — нуль детали) — это точка детали, которая принята за нулевую в системе координат, связанной с деталью, от которой откладываются характерные для обработки размеры;
- нулевая точка станка (на производственном сленге — нуль станка) — это точка в пространстве, которая принимается за нулевую в системе координат, связанной со станком, обычно совпадающая с базовой точкой зажимного приспособления;

- центр инструмента — неподвижная относительно державки точка инструмента, для которой ведется расчет траектории движения инструмента относительно детали. Например, для резца центром инструмента будет считаться центр скругления при вершине данного резца, а для пальцевой фрезы — точка пересечения оси данной фрезы с ее торцом;

- исходная точка составления управляющей программы, вызывающая нулевые точки станка и детали;

- расчетная траектория — это траектория движения центра инструмента относительно обрабатываемой детали, рассчитываемая по геометрии обрабатываемой поверхности с учетом геометрии инструмента, которая может совпадать с контуром обрабатываемой детали, представлять собой его эквидистанту, или являться более сложной кривой;

- опорная геометрическая или технологическая точка — это та точка расчетной траектории, в которой происходит изменение закона, описывающего траекторию, или изменение условий обработки;

- постоянный цикл — это часто встречающаяся последовательность команд управляющей программы, оформленная в виде стандартного участка текста управляющей программы, т.е. стандартной подпрограммы, вызываемой одной командой управляющей программы, например стандартные подпрограммы точения цилиндрических поверхностей, нарезания резьбы, сверления отверстий и т.п.

Быстрое развитие базовых электронных средств обусловило развитие структуры и функциональных возможностей устройств ЧПУ и связанных с этим методов подготовки управляющих программ.

Простейшими из таких устройств являются собственно устройства ЧПУ, называемые устройствами типа NC (numerical control).

Следующим шагом в развитии устройств ЧПУ явились системы типа SNC (storing numerical control). В таких системах благодаря повышению степени интеграции электронных устройств стало возможным увеличить вычислительную мощность устройств ЧПУ и сократить длину управляющих программ. Системы этого класса снабжаются оперативным запоминающим устройством, в котором размещается вся управляющая программа и даже несколько таких программ. Это значит, что процесс ввода управляющей программы отделяется от процесса ее отработки, что позволяет однократно ввести управляющую программу в оперативное запоминающее устройство и многократно ее обрабатывать при выпуске серии деталей.

Использование универсальной управляющей мини-ЭВМ вместо специальных устройств управления привело к созданию систем класса DNC (direct numerical control), в которых вследствие

высокого быстродействия подобной ЭВМ стало возможным управление от одного устройства ЧПУ, построенного на базе такой ЭВМ, сразу несколькими станками.

Дальнейшее развитие микроэлектроники привело к появлению устройств ЧПУ класса HNC (hand-controlled numerical control). В подобных устройствах обработка головной (пилотной) детали партии производится высококвалифицированным рабочим, а все его действия кодируются и записываются в виде управляющей программы для обработки других таких же деталей партии.

Наконец, снижение стоимости компьютерных микроэлектронных средств привело к появлению устройств ЧПУ класса CNC (computerized numerical control), в которых стало возможным использование индивидуального компьютера для построения систем ЧПУ того или иного станка.

Разработка управляющих программ путем кодирования согласно инструкции по программированию данного станка с ЧПУ элементарных действий, совершаемых данным автоматическим станком, требует подробной и полной разработки технологического процесса обработки программируемой детали на данном станке. Кроме того, такое составление управляющих программ для более или менее сложных деталей требует высокой квалификации программиста и сопряжено с неизбежными ошибками, ведущими к поломкам дорогостоящего оборудования и травмам людей. Вся информация, необходимая для обработки данной детали, содержится в рабочем чертеже детали. Стремление, с одной стороны, сократить объем дополнительно разрабатываемой документации и вводимой информации, а с другой — уменьшить, если не полностью исключить, ошибки программирования, привело к созданию и использованию систем автоматического программирования для станков с ЧПУ, получивших общее название САП.

Автоматизированная разработка управляющих программ может производиться и на средствах вычислительной техники, входящих в состав систем ЧПУ. В первую очередь это относится к системам класса HNC, хотя может выполняться и на системах классов DNC и CNC. Однако это не должно препятствовать основной работе станка — обработке деталей. Стремление отделить процесс составления управляющей программы от процесса обработки детали привело к концепции создания самостоятельных САП.

Характерным примером таких САП является система автоматического программирования станков с ЧПУ, называемая АРТ (auto programming tool). Она послужила основой для разработки многочисленных АРТ-образных языков. Русской версией такой системы автоматического программирования станков с ЧПУ является система Техтран, включающая в себя проблемно-ориентированный язык Техтран и транслятор с него. Система Техтран (тех-

нологический транслятор) получила свое название по аналогии с известным языком программирования Фортран (формульный транслятор).

Базовый Техтран позволяет программировать любые плоские контуры, находящиеся в плоскости XOY и состоящие из набора точек, прямых линий и дуг окружностей, что соответствует графическим возможностям чертежного кульмана. Перемещения по оси Z возможны при осуществлении движения типа «точка — точка» в процессе управления глубиной обработки и выходе на заданную плоскость XOY . Такая обработка называется 2,5-координатной.

Система Техтран обеспечивает слежение за процессом составления управляющей программы и осуществляет диагностирование ошибок в исходном тексте, а также позволяет по одному исходному тексту, написанному в формальных параметрах, производить составление управляющих программ для группы похожих деталей путем задания для каждой из этих деталей фактических значений формальных параметров. Система обеспечивает возможность редактирования составляемых управляющих программ как на уровне исходного текста, так и в результирующем коде ISO-7bit. Кроме того, система формирует сопроводительную документацию.

Последовательность подготовки исходного описания детали для последующего использования его системой Техтран сводится к следующему:

- выбор системы координат и определение контурных элементов;
- выбор исходной точки обработки;
- определение последовательности обработки детали;
- описание на языке Техтран контура детали, последовательности обработки и технологических команд.

Исходный текст языка Техтран состоит из напечатанных в определенном порядке операторов, каждый из которых записывается на отдельной строке. Если оператор не умещается на отдельной строке, то он продолжается на последующих строках, а в конце предыдущей строки ставится знак &.

В языке Техтран используются следующие типы объектов, которыми описываются деталь и технологические действия:

- целые и вещественные числа;
- логический переход;
- точка;
- вектор;
- прямая;
- окружность;
- матрица.

Объекты с именем одного типа можно объединять в одно- или двухмерные массивы. Формат описания массива таков:

[тип имени] [наименование массива] [индексы (i, j)].

Вместо чисел в языке Техтран могут быть использованы арифметические выражения, состоящие из операндов, соединенных знаками операций. Операндами в этих выражениях могут быть числа, имена целых и вещественных переменных, элементы целых и вещественных массивов.

В исходном тексте языка Техтран используются также логические выражения. Операндами логического выражения здесь могут быть:

- 1) логические константы ИСТИНА и ЛОЖЬ;
- 2) арифметические действия, для результатов которых производится операция сравнения: БЛШ — больше, БРВ — больше или равно, МНШ — меньше, МРВ — меньше или равно, РВН — равно, НРВ — не равно;
- 3) геометрические отношения, т. е. соединение двух однотипных геометрических объектов с помощью операции ГРВ (геометрическое равенство) или операции ГНВ (геометрическое неравенство);
- 4) операторы геометрической корректности, т. е. определения, перед которыми стоит оператор КОРР (корректно) или НЕКОРР (некорректно).

В системе Техтран предусмотрены различные способы задания точек (16 способов), прямых (14 способов), векторов (11 способов) и дуг окружностей (19 способов).

Имеется также аппарат матричных преобразований, включающий в себя поворот исходной системы на заданный угол, перенос исходной системы в заданную точку, перенос и поворот исходной системы и так далее — всего 8 типов действий.

В системе Техтран предусмотрены движения трех типов: точка — в — точку, непрерывное и фиктивное.

Движение типа точка — в — точку задается операторами ВТОЧКУ или ПРИРАЩ.

Непрерывное движение задается оператором ИДИ с модификаторами ДО, НА и ЗА, а также операторами ВПЕРЕД, НАЗАД, ВПРАВО и ВЛЕВО вдоль направляющей поверхности с использованием операторов ДО, НА, ЗА и КАС применительно к ограничивающей поверхности.

Фиктивное движение применяется тогда, когда неудобно непосредственно задавать движение из одной точки в другую. Тогда описывается движение через условные промежуточные точки. Фиктивное движение задается оператором НЕОБР, а отменяется оператором ОБР.

Изменение порядка выполнения и перекомпоновка программы осуществляются с использованием оператора НАМЕТКУ.

Важнейшим достоинством системы Техтран является наличие аппарата макроопределений, что позволяет по мере накопления данных по обрабатываемым деталям повышать уровень автомати-

зации системы силами эксплуатационников без доработки основного программно-математического обеспечения.

Всякая автоматизированная разработка управляющих программ для станков с ЧПУ опирается на базы данных, содержащие следующие компоненты:

- технологические схемы и наладки для обработки типовых поверхностей, таких как наружное и внутреннее точение, нарезание резьб, выполнение канавок, сверление, фрезерование пазов и др.;
- библиотека простейших графических элементов, таких как окружности, овалы, прямоугольники, зубья шестерен и др.;
- технические характеристики станков, приспособлений, инструментов;
- данные для расчета режимов обработки;
- архив ранее разработанных переходов и операций;
- архив готовых управляющих программ;
- архив постпроцессоров для разных станков с ЧПУ.

Станки с ЧПУ, а значит и соответствующие САП, специализируются. Среди них можно выделить следующие группы:

1) токарные станки с ЧПУ и САП, предназначенные для 2-координатной обработки;

2) фрезерные и сверлильные станки с ЧПУ и САП, предназначенные для 2,5-координатной обработки;

3) фрезерно-сверлильно-расточные многоинструментные станки (обрабатывающие центры) с ЧПУ и САП, предназначенные для 3-координатной обработки.

Современные САП позволяют смоделировать и визуализировать на экране монитора в виде мультфильма движение инструмента относительно детали и процесс съема металла, что весьма удобно для контроля составляемой управляющей программы. Они также допускают коррекцию и редактирование управляющей программы оператором на любом этапе ее создания.

7.6. Автоматизированная разработка планов

Для современного машиностроения характерен высокий уровень согласования загрузки технологических единиц любого производственного участка со смежными и комплектующими службами, руководящим персоналом и плановыми органами.

Основной *плановой единицей*, рассматриваемой при организации производственного процесса в многономенклатурном машиностроительном производстве, является плановая партия. *Плановой партией* называется множество Q_i всех деталей i -го наименования, входящих в состав планового задания.

Плановая партия может в общем случае проходить производственный процесс частями, обработка которых на каждой опера-

ции выполняется без перерыва. Эти части плановой партии будем называть *партиями запуска*.

Пусть B_i — число партий запуска деталей i -го типа. Q_i^β — объем одной партии запуска. Тогда общий объем Q_i планового задания вычислим следующим образом:

$$Q_i = \sum^{B_i} Q_i^\beta.$$

Число B всех партий запуска в плановом задании составит

$$B = \sum_{i=1}^m B_i.$$

В решении вопроса о разбиении плановой партии на партии запуска возможны два предельных случая.

В первом случае в качестве партии запуска выбирается вся плановая партия, т. е. $B_i = 1$ и $Q_i^1 = Q_i$.

Очевидными недостатками такой организации многономенклатурного производства является задержка с передачей уже обработанных на предыдущей операции деталей на следующую по технологическому маршруту операцию, а также повышение вероятности образования «пробок», т. е. недопустимо длинных очередей к группам агрегатов, что связано с увеличением времени пребывания детали на каждой операции.

Вторым предельным случаем является объявление каждой детали партией запуска, т. е. $B_i = Q_i$ и $Q_i^\beta = 1$.

Очевидными недостатками в случае такой организации производства являются возрастание суммарного времени на переналадку, нерациональное использование мест для хранения межоперационных заделов и др.

Рациональным компромиссом между этими двумя предельными случаями является передача детали от одного агрегата к другому частями (транспортными партиями), называемыми *пакетами*. При таком принципе транспортировки партия запуска может одновременно находиться на нескольких агрегатах и выполнение последующей операции технологического маршрута начинается после завершения предыдущей операции не над всей партией запуска, а над ее частью. Обычно за такой транспортный пакет принимается *сменная производственная программа выпуска*.

Однако такой пакетный способ передачи деталей приводит в усложнению информационной структуры планирования и, в случае неравенства времен выполнения соседних операций технологического маршрута, либо к недогрузке агрегатов, либо к образованию «пробок».

Образование «пробок» может происходить вследствие двух факторов: производственного, обусловленного наличием оборудова-

ния с недостаточной производительностью либо недостаточным числом одинаковых единиц оборудования, предназначенных для выполнения той или иной операции технологического маршрута; и технологического, обусловленного наличием в технологическом маршруте операций, продолжительность которых существенно превышает среднюю продолжительность операций данного технологического маршрута. *Производственным фактором* будем называть наличие узкого места в составе оборудования, а технологическим — наличие узкого места в технологическом маршруте данной детали. Влияние *технологического фактора* может быть ослаблено введением параллельной обработки на операциях, являющихся узкими местами данного технологического маршрута. Влияние производственного фактора может быть ослаблено за счет распараллеливания партий запуска, что приведет к уменьшению количества деталей, проходящих через узкое место производства.

В условиях многономенклатурного машиностроительного производства базовым документом, определяющим последовательность поступления деталей на обработку, является *расписание*. В общем случае под расписанием будем понимать множество G , состоящее из элементов, которые называются *элементарными работами*:

$$G_\gamma(q_\gamma, j_\gamma, P_\gamma, t_\gamma),$$

где $\gamma = 1, 2, \dots, \Gamma$; q_γ — номер партии деталей; j_γ — номер операции в технологическом маршруте; P_γ — номер агрегата; t_γ — момент начала данной элементарной работы; Γ — минимальное число элементарных работ в расписании G .

Минимальное число элементарных работ находится по формуле

$$\Gamma = \sum_{i=1}^m n_i B,$$

где n_i — число деталей i -го типа в плановом задании; m — число операций в технологическом маршруте.

До настоящего времени не существует точных аналитических методов построения расписаний работ для любого числа станков и номенклатуры обрабатываемых на них деталей.

Поэтому для построения подобных расписаний используются эвристические процедуры, состоящие в имитации развертывания во времени производственного процесса. С целью формализации этого моделирования поступим следующим образом.

Обозначим S множество всех операций, которые необходимо выполнить. Подобное множество представляется в виде прямоугольной матрицы с элементами c_{qj} , где $q = 1, 2, \dots, B$; $j = 1, 2, \dots, m$. Те элементы c_{qj} , у которых $j > m_{i(q)}$, принимаем равными нулю и будем называть их тривиальными.

Возможны два принципиально разных подхода к перебору матрицы S , т. е. к последовательности составления расписаний.

В первом случае при формировании расписания матрица C просматривается построчно. Это значит, что процедура назначения на обработку привязывается к партии запуска и до завершения всех назначений, предусмотренных данной строкой матрицы C , переход к просмотру другой строки этой матрицы не происходит. Внутри одной строки перебор осуществляется не в порядке возрастания порядковых номеров партий запуска, а в соответствии с назначенными приоритетами.

Во втором случае развертывание последовательности назначения на обработку происходит в соответствии с фактами осуществления характерных событий будущего производственного процесса, например по факту высвобождения какого-либо агрегата после выполнения на нем предыдущей технологической операции. Это соответствует обычной процедуре построения диаграммы Гантта.

При таком подходе из множества всех операций над партиями C выделяется подмножество технологически и организационно подготовленных операций S , фронт работ. Фронт работ состоит из B операций, по одной на каждую партию запуска. В начальный момент формирования расписания фронт работ состоит из всех элементов матрицы C , а после окончания формирования расписания — из одних нулей. Множество S разбивается на l (по числу групп агрегатов) подмножеств S^k , $k = 1, 2, \dots, l$. Подмножество S^k называется очередью на k -ю группу агрегатов. S^k принимает значения от 0 до B и определяется тремя числами: q_z^r — номер партии запуска; j_z^k — порядковый номер данной операции в технологическом маршруте; d_z^k — возможный момент начала данной операции. $E^k(t)$ — число операций в очереди к данному агрегату в момент времени t .

Процедура назначения очередной операции над партией запуска из фронта работ осуществляется в два этапа.

Сначала конкурирующими считаются агрегаты и происходит выбор очередного агрегата P из множества всех агрегатов, на которые может быть сделано назначение.

После фиксации номера агрегата P рассматривается очередь к нему, т.е. $E^{k(P)}$. Если оказывается, что $E^{k(P)} = 0$, т.е. на данный агрегат никто не претендует, то нужно вернуться к выбору агрегата P . Если оказывается, что $E^{k(P)} \neq 0$, то конкурирующими оказываются операции, образующие эту очередь. При $E^{k(P)} = 1$ единственная операция, образующая эту очередь, сразу же включается в расписание. В остальных случаях непустой очереди к данному агрегату выбор операции, подлежащей включению в расписание, осуществляется на основе принятых приоритетных правил, называемых дисциплинами назначения.

Среди таких приоритетных правил можно назвать следующие:

• «первый пришел — первым обслужен» (FIFO, что является аббревиатурой английского выражения first in-first out, действия, совершаемые из чувства справедливости);

• «последний пришел — первым обслужен» (LIFO, что является аббревиатурой английского выражения last in-first out, поскольку считается, что последние запросы являются наиболее актуальными, а первые запросы уже долго ждали и еще подождут);

• случайный (random) выбор;

• минимум длины остающегося невыполненным «хвоста» технологического маршрута (это соответствует принятому у производителей правилу первоочередного изготовления деталей, не требующих трудоемкой обработки, на производственном сленге называемых «соломой»);

• максимум длины остающегося невыполненным «хвоста» технологического маршрута (это соответствует принятому у производителей правилу первоочередного изготовления деталей, требующих трудоемкой дополнительной обработки) и др.

В условиях производственных единиц, встраиваемых в окружающую производственно-экономическую среду, локальная максимизация производительности данной производственной единицы не является самоцелью и не может служить критерием качества составленных производственных планов. При планировании недостаточно знать, что достигается максимально возможная производительность. Нужно еще знать, чему именно равняется этот максимум и обеспечивает ли он выполнение планового задания. Если же при максимизации производительности она не только обеспечивает выполнение планового задания, но и превышает его требования, то может произойти разбалансировка производства, нарушение взаимодействия данного производственного участка со смежными и комплектующими службами, произойдет преждевременное расходование ресурсов заготовок и инструментов, могут возникнуть простои производства, нарушения его ритмичности и др.

Поэтому при планировании следует задаваться вполне определенной производительностью по номенклатуре и объемам, не меньшими, но и не большими. Качество составленных расписаний должно оцениваться по тому, с какой вероятностью они обеспечивают выполнение планового задания.

Для автоматического компьютерного составления расписаний на первом этапе используются следующие массивы исходных данных:

- незавершенное производство;
- календарь рабочих смен;
- график работы оборудования;
- сведения о составе оборудования;
- сведения о наличии оснастки;

- заказ на оснастку;
- технологические маршруты.

После выполнения первого этапа автоматического компьютерного составления расписаний получают следующие массивы результатов:

- промежуточное внутреннее значение незавершенного производства;
- моменты времени освобождения рабочих мест для выполнения следующей работы.

Полученные результаты выполнения первого этапа автоматического компьютерного составления расписаний вместе с дополнительными массивами исходных данных используются для окончательного составления расписаний. Для окончательного составления расписаний используются следующие дополнительные массивы исходных данных:

- промежуточное внутреннее значение незавершенного производства;
- моменты времени освобождения рабочих мест для выполнения следующей работы;
- календарь;
- график работы оборудования;
- сведения о составе оборудования;
- границы отрезка оперативного планирования, т. е. планирования операций, и номера смен, на которые составляется данное расписание.

В результате должно быть получено расписание работы на ту или иную смену.

7.7. Незавершенное производство на многономенклатурных комплексах обработки и сборки

В многономенклатурной обработке, даже в условиях наилучшей организации производственного процесса и при отсутствии задела на начало данного планово-отчетного периода, обычно равняющегося одному месяцу, к концу текущего планово-отчетного периода всегда возникает незавершенное производство, т. е. появляются такие детали, обработку которых нельзя считать законченной и которые не готовы к потреблению.

Если комплексу задан план выпуска, т. е. общее число деталей, которые должны быть полностью готовы к концу текущего планово-отчетного периода, то чтобы успеть выполнить к концу этого периода последние операции технологического маршрута, первые операции этого маршрута необходимо завершить в течение

начальных отрезков времени текущего планово-отчетного периода. Оставшееся время этого периода должно быть использовано для догрузки оборудования, которое не должно простаивать. Однако детали, дополнительно запущенные в обработку на этом оборудовании, не успеют до конца планового периода пройти все операции технологического маршрута и образуют незавершенное производство на конец данного планово-отчетного периода.

«Покрыть» план выпуска следующего отчетного периода можно, комбинируя запуск в производство новых заготовок и доделку задела незавершенного производства, имеющегося на конец текущего планово-отчетного периода. Этот задел состоит из деталей, успевших пройти лишь первые операции технологического маршрута.

Проблема состоит в том, чтобы определить, какие заготовки следует «запускать» заново, а какие использовать из имеющегося задела.

Пусть в технологическом маршруте детали имеется J операций, причем время выполнения j -й операции составляет t_j , где $j = 1, 2, \dots, J$. Тогда время прохождения деталию всего технологического маршрута составит

$$t_{\text{тех}} = \sum_{j=1}^J t_j.$$

Незавершенное производство характеризуется номером операции, на которой партию деталей, не успевших полностью пройти весь технологических маршрут обработки, «застыгло» окончание текущего периода, и числом деталей, прошедших эту операцию.

С целью формализации задания исходной информации для решения названной ранее проблемы согласования незавершенного производства с директивным *планом выпуска* будем изображать соответствующие данные в виде таблиц. Значения τ_p , где $p = 1, 2, \dots, P$ (табл. 7.1), и T_k , где $k = 1, 2, \dots, K$ (табл. 7.2), находятся по известному времени j -й операции, $j = 1, 2, \dots, J$, и директивным срокам выпуска.

План выпуска текущего планово-отчетного периода (месяца) представляет собой сумму всех деталей d_k .

Естественно, что $n \leq d$. Тогда объем запуска текущего планово-отчетного периода составляет $(d - n)$ заготовок.

Поскольку незавершенное производство состоит из партий, по определению неделимых, задачу согласования незавершенного производства с планом выпуска можно переформулировать таким образом, что необходимо определить, какую партию из незавершенного производства к какому директивному сроку выпуска следует отнести.

Таблица 7.1

Незавершенное производство		
Номер партии	Число деталей в партии	Время обработки оставшейся части
1	n_1	τ_1
...
p	n_p	τ_p
...
P	n_P	τ_P

Таблица 7.2

План выпуска	
Число деталей	Время до директивного срока выпуска
d_1	T_1
...	...
d_k	T_k
...	...
d_K	T_K

Введем и формализуем понятие *напряженности производственной программы*. Очевидно, что партию деталей тем труднее выпустить в срок, чем большее время τ требуется по технологическому процессу для завершения ее обработки и чем меньше времени T остается до директивного срока выпуска. *Напряженностью* H производства данной партии деталей, с точностью до постоянного коэффициента, будем называть величину, равную отношению выражений τ/T , а напряженностью $H_{п.п}$ всей производственной программы текущего планово-отчетного периода — сумму по всем партиям, входящим в названную производственную программу, выражений вида τ/T . Эту сумму и будем называть напряженностью производственной программы данного планово-отчетного периода.

Имеющееся к концу предыдущего или, что то же самое, к началу текущего планово-отчетного периода незавершенное производство должно быть согласовано с планом выпуска текущего планово-отчетного периода таким образом, чтобы напряженность производственной программы данного планово-отчетного периода была минимальной.

Математически сказанное выражается следующим образом.

С каждым директивным сроком выпуска, который для простоты рассуждений можно принять за T_k , где $k = 1, 2, \dots, K$, будем связывать P чисел y_{kp} , где $p = 1, 2, \dots, P$. Эти числа определим следующим образом:

$$y_{kp} = \begin{cases} 1, & \text{если партия из незавершенного производства} \\ & \text{с номером } p \text{ отнесена к директивному сроку } T_k; \\ 0, & \text{в противоположном случае.} \end{cases}$$

Так как партия с номером p из незавершенного производства может быть отнесена только к одному директивному сроку T_k пла-

числа деталей, отнесенных к тому или иному директивному сроку выпуска, и числа вновь запускаемых деталей нарастающим итогом по K была бы не меньше, чем нарастающий итог запланированного выпуска. Последнее из записанных соотношений представляет собой точное равенство, поскольку оно выражает условие выполнения плана выпуска к последнему директивному сроку.

Общую напряженность производственной программы текущего планово-отчетного периода можно выразить следующим соотношением:

$$H_{п.п} = \sum_{k=1}^K (1/T_k) \left(\sum_{p=1}^P \tau_p y_{kp} + t_{тех} x_k \right).$$

Таким образом получается следующая задача целочисленного линейного программирования с искомыми неизвестными x_k и y_{kp} .

Минимизировать напряженность производственной программы $H_{п.п}$ при наличии ограничений по запланированным срокам и объемам выпуска. Эта задача может быть решена одним из известных методов, например методом ветвей.

В результате определяются незавершенное производство к концу текущего планово-отчетного периода и план запуска текущего планово-отчетного периода.

Контрольные вопросы

1. Какие работы надо выполнить для формирования цифрового образа проектируемого устройства?
2. Что включает в себя цифровой образ проектируемой детали?
3. Что называется структурным, геометрическим и параметрическим синтезами изделия?
4. В чем состоит направленный перебор вариантов при структурном синтезе изделия?
5. Что такое изоморфные и гомоморфные модели?
6. Что такое материальные и абстрактно-концептуальные гомоморфные модели?
7. На какие разновидности подразделяются материальные и абстрактно-концептуальные гомоморфные модели?
8. Какая связь существует между математическими моделями, используемыми при автоматизации конструирования?
9. Что помещается в базу данных и базу знаний автоматизированного конструирования?
10. Что такое конструкторские правила?
11. Какие системы принято называть механизированными, а какие — автоматизированными системами технологической подготовки?
12. Какие системы называют интерактивными (диалоговыми) системами автоматизированной технологической подготовки производства?

13. Что помещается в базу данных, а что — в базу знаний автоматизированной технологической подготовки производства?

14. Что должно обеспечивать диспетчерское управление производственным процессом?

15. Для чего при синтезе алгоритма диспетчерования следует применять те или иные регулярные методы?

16. Как называется кустом древовидной структуры?

17. Как строятся исходные характеристические таблицы для синтеза алгоритма диспетчерования с помощью графоаналитического метода?

18. Какие строки в характеристических таблицах образуют полный комплект?

19. По каким правилам происходит переход от характеристических таблиц к каноническим графам и от канонических графов к блок-схемам алгоритмов диспетчерования?

20. В чем заключается адресный принцип образования текста кадра в управляющих программах для оборудования с ЧПУ?

21. Что такое системы типа NC, SNC, HNC, DNC и CNC?

22. Каковы принципы построения АРТ-образных языков?

23. Что такое плановая партия и партия запуска?

24. В чем состоит пакетная передача деталей с операции на операцию?

25. Что такое «пробки» в автоматизированном производстве и какие существуют методы борьбы с ними?

26. Каковы методы разработки расписаний?

27. Почему всегда возникает незавершенное производство и в чем состоит задача согласования незавершенного производства с планом выпуска?

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ

8.1. Содержание этапов создания автоматизированного машиностроительного производства

Эффективность автоматизации современного машиностроительного производства на основе его компьютеризации в основном зависит от степени интеграции всех стадий конструкторской и технологической подготовки производства и самого производственного цикла в единый информационный процесс. Поэтому в современных системах автоматизированного проектирования организуются информационные связи, в первую очередь между программно-аппаратными блоками проектирования деталей и технологиями их изготовления. Такие системы получили в англоязычной научно-технической литературе название систем типа CAD/CAM (Computer Aided Designing/Computer Aided Manufacturing).

Одной из важнейших составных частей современных интегрированных систем автоматизированного проектирования является программно-аппаратный блок, обеспечивающий принятие принципиальных решений. Подобные решения принимаются на основе достаточно трудоемких инженерных расчетов и математического моделирования. Подобные системы получили в англоязычной научно-технической литературе название систем типа CAE (Computer Aided Engineering). Будучи интегрированными с ранее упоминавшимися с компонентами, они образуют системы типа CAE/CAD/CAM.

При разработке всякого нового изделия и организации его производства следует соблюдать следующие принципы:

- многовариантность;
- итеративность;
- последовательность.

Проектирование интегрированной компьютеризированной системы автоматизации современного многономенклатурного машиностроительного производства и ее реализация — это сложный многостадийный процесс, состоящий из различных по характеру работ и требующий привлечения специалистов различного профиля с соответствующей координацией их деятельности. В результате проектирования подобной интегрированной компь-

ютеризированной системы должна быть создана техническая документация, определяющая структуру, связи и порядок функционирования системы автоматизации в целом, состав и комплектацию компьютерных средств и сетей, алгоритмы их работы, а также техническая документация на специальные устройства, не выпускаемые серийно, и на регламентные указания и инструкции управленческому персоналу.

Для эффективного функционирования многономенклатурного автоматизированного компьютеризированного производства необходимо пересмотреть всю совокупность его взаимосвязей и иерархической подчиненности с традиционными инженерными и другими службами предприятия. Необходимо представлять себе все последствия введения этой новой концепции проектирования и изготовления изделия. В первую очередь, такая концепция означает повышение ответственности пользователя. Нельзя рассматривать подобное интегрированное компьютеризированное производство как еще одну единицу автоматизированного оборудования, которая сразу же после ее доставки и монтажа начинает функционировать в соответствии со своими техническими характеристиками. Ответственность за конечный результат не может быть целиком возложена на изготовителя. Пользователь, если он хочет достигнуть желаемого результата, должен участвовать в работе на всех этапах создания системы, начиная с планирования ее разработки до ввода ее в действие и выхода на проектную мощность.

В настоящее время разработаны отечественные нормативные и методические материалы, определяющие перечень и примерный состав документов, которые должны создаваться на разных стадиях проектирования и реализации подобного интегрированного автоматизированного компьютеризированного производства. Эти документы не являются директивными, но имеют существенное методическое значение.

К таким документам относятся техническое задание (ТЗ), эскизный проект, технический проект и рабочая документация. Иногда выполняют лишь единый технорабочий проект.

Определяющим документом интегрированной системы автоматизации производства является **т е х н и ч е с к о е з а д а н и е**. Его разрабатывает создатель системы, а заказчик участвует в его составлении и утверждает составленный документ. Это соответствует конкурсной организации работ по созданию требуемой интегрированной системы автоматизации производства.

Дополнительно к ТЗ на систему в целом могут быть разработаны и частные ТЗ на подсистемы, отдельные компоненты, компьютерные и программные средства, информационное обеспечение, комплекующие и др.

Техническое задание на интегрированную систему управления производством должно содержать следующие разделы:

- общие сведения;
- назначение и цели создания и развития системы;
- характеристика производства;
- требования к системе автоматизации;
- состав и содержание работ по созданию или развитию системы автоматизации;
- порядок контроля и приемки системы;
- требования по составу и содержанию работ по подготовке производственного объекта к вводу системы автоматизации в действие;
- требования к документированию;
- источники разработки.

В разделе «Общие сведения» освещаются такие вопросы, как наименование и условное обозначение, присваиваемые создаваемой системе автоматизации, наименование и обозначение контракта, наименование фирм производителя и заказчика и их реквизиты, перечень документов, на основании которых создается данная система, планируемые сроки начала и окончания работ по созданию всей системы и ее частей, порядок оформления и предъявления заказчику результатов работ по изготовлению и наладке всей системы и ее частей, а также отдельных средств, используемых системой.

В разделе «Назначение системы» указывается вид автоматизируемой деятельности, например ведение документооборота или подготовка производства, а также приводится перечень объектов, для которых предполагается использовать данную систему.

В разделе «Цели системы» приводятся наименования и указываются значения технических, технологических, производственно-экономических и других показателей производственного объекта, которые должны быть обеспечены в результате создания и использования данной системы.

В разделе «Характеристика производства» приводятся краткие сведения об объекте автоматизации или ссылки на соответствующие документы, которые содержат необходимую информацию о самом объекте, условиях его эксплуатации и об окружающей среде.

Раздел «Требования к системе автоматизации» должен состоять из трех подразделов: «Требования к системе в целом», «Требования к функционированию системы», а также «Требования к различным видам обеспечения (технического, алгоритмического, программного, организационного, информационного, лингвистического, метрологического, методического) создаваемой системы».

В подразделе «Требования к системе в целом», должны быть указаны показатели назначения, а также требования к структуре и функционированию системы, численности и квалификации

персонала и режиму его работы, надежности, безопасности, эргономике и технической эстетике, эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов системы, защите информации от несанкционированного доступа, в аварийных ситуациях и от влияния внешней среды.

В «Требованиях к функционированию системы» приводится перечень входящих в нее подсистем, их назначение и основные характеристики, требования к числу уровней иерархии и степени централизации системы, а также к способам и средствам информационного обмена, методам диагностирования системы и режимам ее функционирования.

В требованиях по надежности приводятся перечень и количественные значения требуемых показателей надежности для всей системы в целом и для ее составных частей, а также перечисляются возможные аварийные ситуации. Называются также соответствующие требования к показателям надежности для используемых технических компьютерных средств и программного обеспечения.

В требования по безопасности включаются требования по монтажу, наладке, обслуживанию, эксплуатации и ремонту используемых технических компьютерных средств, а также по защите от электрических и магнитных полей, акустических шумов и по допустимым уровням освещенности, запыленности и вибраций.

В требования по эргономике и технической эстетике включаются показатели, определяющие взаимодействие человека и технических средств создаваемой системы автоматизации.

В требованиях к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению оговариваются:

- условия и регламент эксплуатации;
- предварительные требования к площадям для размещения персонала и технических средств автоматизации;
- численность и квалификация обслуживающего персонала и режимы его работы;
- состав, размещение и условия хранения запасных частей и требующихся приборов;
- требования к организации обслуживания.

Могут также быть оговорены заранее требования к сервисной аппаратуре и стендам, к различного рода тренажерам и документации на них, а также ряд специальных требований.

Заранее оговариваются также требования к различным перечисленным выше видам обеспечения системы, в том числе к использованию языков программирования высокого уровня и к языкам взаимодействия пользователей и технических средств системы.

Очень важными являются требования к информационному обеспечению системы. При выполнении этих требований регламентируются информационный обмен между компонентами системы, информационная совместимость данной системы со смежными

системами, использование классификаторов и тех или иных методов кодирования, использование систем управления базами данных, процессы сбора, представления, обработки и движения данных в системе, защита данных при авариях и сбоях в электропитании, контроль, хранение, обновление и восстановление данных, а также процедура придания юридической и финансовой силы документам, вырабатываемым техническими средствами данной системы.

Следует обращать особое внимание на «Состав и содержание работ по созданию или развитию системы» и на «Порядок контроля и приемки системы».

В разделе ТЗ «Состав и содержание работ по созданию или развитию системы» должны быть указаны перечень этапов работ по созданию данной системы, сроки их выполнения, соответствующие исполнители, а также должны содержаться ссылки на документы, подтверждающие и определяющие участие этих исполнителей.

В разделе ТЗ «Порядок контроля и приемки системы» должны быть оговорены статус приемочной комиссии, виды, объем и методы испытаний всей системы и ее составных частей, а также общие требования к приемке работ по стадиям, включая перечень участвующих лиц и организаций, место и сроки проведения, порядок согласования и утверждения приемочной документации.

Специфическим и имеющим большое значение для данного класса систем автоматизации является раздел ТЗ, озаглавленный «Требования по составу и содержанию работ по подготовке производственного объекта к вводу системы автоматизации в действие». Этот раздел должен содержать перечень основных мероприятий с их исполнителями и сроками, которые следует выполнить при подготовке производственного объекта к установке и вводу в действие данной системы автоматизации. К основным мероприятиям такого рода обычно относятся:

- приведение поступающей в систему информации в соответствие с требованиями к информационному и лингвистическому обеспечению;
- осуществление требуемых изменений в автоматизируемом объекте;
- создание требуемых условий функционирования автоматизируемого объекта;
- создание необходимых подразделений и служб;
- определение сроков и порядка комплектования штатов и обучения персонала.

После составления, согласования и утверждения ТЗ можно приступать к составлению эскизного проекта. Он должен включать в себя разработку:

- структурной схемы автоматизации и компьютеризации;
- организационной структуры автоматизации;

- структуры комплекса технических средств;
- функциональной структуры;
- перечня ТЗ на разработку специализированных технических средств.

Далее может выполняться этап разработки технического проекта системы автоматизации. Технический проект должен содержать уточненные редакции документов, создаваемых на этапе эскизного проектирования, а также следующие документы, характерные только для этого этапа:

- ТЗ на строительные, электротехнические, сантехнические и другие подготовительные работы, а также перечень этих ТЗ;
- ведомость покупных изделий;
- перечень входных и выходных сигналов, данных и документов;
- описание функций автоматизации;
- описание информационного обеспечения создаваемой системы автоматизации, организации информационной базы, системы классификации и кодирования, массивов информации;
- описание комплекса технических средств;
- описание программного обеспечения;
- описание организационной структуры;
- проектная оценка надежности;
- план расположения системы и локальный сметный расчет;
- формы документов и видеограмм.

На этапе рабочего проекта создаются следующие документы:

- общее описание системы;
- ведомости эксплуатационных документов, включая потребности в материалах и компьютерных носителях;
- каталог базы данных, массив и состав входных данных (сообщений), инструкции по формированию и ведению базы данных;
- описание технологического процесса обработки информации;
- чертеж общего вида системы, схемы установки технических средств, схемы структуризации системы, схемы и таблицы подключения внешних и внутренних разъемов, схемы принципиальные и структурные;
- инструкции и руководство пользователя;
- программы и методики испытаний компонентов;
- формуляр и паспорт на систему и ее компоненты;
- локальная смета.

8.2. Система автоматизированных рабочих мест на машиностроительном предприятии

В процессе организации управления современным автоматизированным многономенклатурным машиностроительным производ-

ством при работе с производственным и инженерно-техническим персоналом должны выполняться следующие функции:

- обеспечение эффективной структуры должностей с минимальным штатом сотрудников и ограниченной возможностью доукомплектования производственно-технических подразделений при освоении новых изделий;

- повышение квалификации руководителей и исполнителей в этих научно-технических подразделениях в связи с освоением новых изделий, включая их общую и профессиональную подготовку;

- расстановка руководителей и кадров исполнителей с учетом рациональной организации работы научно-технических подразделений;

- разработка структуры производства и управления, а также информационных потоков и взаимосвязей между подразделениями и сотрудниками;

- создание соответствующих форм документооборота и его структуры, которые смогут организовать производственный процесс.

Для повышения эффективности и производительности труда управленцев и специалистов в настоящее время для них создаются *автоматизированные рабочие места* (АРМ).

Современное АРМ, применяемое в автоматизированных многономенклатурных производствах машиностроения, как правило, реализуется на базе дисплейного монитора, монохромного либо цветного, с устройством ввода информации в виде клавиатуры, а также процессора, являющегося системным блоком. Кроме клавиатуры могут быть использованы и другие устройства ввода информации, например сканеры. Программно-математическое обеспечение такого АРМа обычно является специализированным и ориентировано на производственные проблемы, решаемые тем специалистом или руководителем, который этим АРМом пользуется. Подобные АРМы обычно являются терминалами локальной вычислительной сети.

Использование АРМов, в первую очередь, если они подключены к локальной вычислительной сети, создает возможность интеграции труда управленцев и организаторов производства, а также различных специалистов, в том числе конструкторов, технологов и программистов.

Одна из возможных схем использования системы АРМов, размещенных на различных уровнях автоматизированного многономенклатурного машиностроительного производства, рассматриваемого как единое интегральное целое, приведена на рис. 8.1.

На верхнем уровне иерархии, к которому относятся задачи управления деятельностью фирмы в целом, размещаются АРМы директора и его заместителей, главных специалистов, например главного конструктора, технолога, бухгалтера, механика и др., начальников отделов служб, специалистов отделов по планирова-

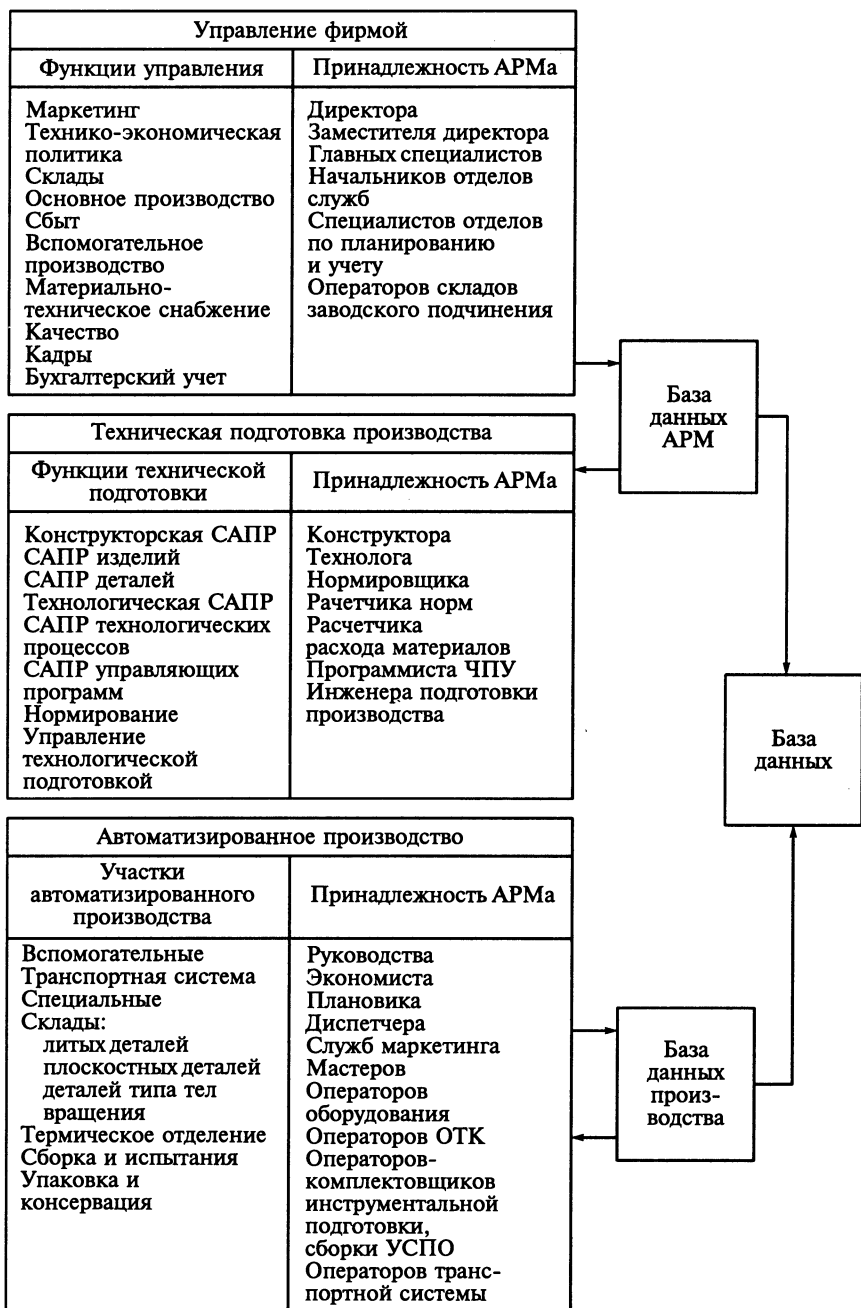


Рис. 8.1. АРМы автоматизированного машиностроительного предприятия

нию и учету, а также операторов складов общезаводского назначения.

На уровне технической подготовки производства, к которому относятся задачи автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства, а также нормирования, размещены АРМы конструктора, технолога, нормировщика, расчетчика норм по труду, расчетчика расходов материалов и составителей управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Поскольку эти задачи являются весьма многочисленными и требуют больших трудозатрат, оказывается целесообразным выделить проблему управления технической подготовкой производства. Соответственно на уровне технической подготовки производства размещается АРМ инженера, управляющего технической подготовкой производства.

На нижнем уровне иерархии обеспечивается оперативное управление ходом автоматизированного многономенклатурного производства. Поэтому здесь размещаются АРМы руководства производством, экономистов, плановиков, диспетчеров, работников служб эксплуатации, мастеров, операторов оборудования, операторов ОТК, операторов-комплектовщиков, операторов подготовки инструмента, операторов сборки универсальных сборных приспособлений и оснастки (УСПО) и операторов системы транспортировки.

На реальном предприятии наряду с высокоавтоматизированным может существовать и производство обычного уровня автоматизации. В этом случае осуществляется управление традиционными цехами, для чего создаются АРМы начальников цехов, начальников бюро, мастеров участков, диспетчеров бюро, экономистов цехов, контролеров ОТК, а также операторов внутрицеховых кладовых.

Следует также заметить, что указанные АРМы могут в некоторых случаях использоваться несколькими лицами и соответственно одновременно принадлежать нескольким уровням управления.

Через АРМы проходит документация, обеспечивающая требуемое протекание производственного процесса, в том числе:

- модели производственно-сбытовой деятельности;
- оперативно-календарные планы;
- ведомости материально-технического снабжения;
- оперативные отчеты о ходе производственно-сбытовой деятельности за тот или иной период времени;
- информация, необходимая для проведения оперативных совещаний;
- задания на выполнение оперативных решений;
- результаты контроля за оперативными решениями;
- производственные графики на те или иные периоды времени;

- графики обеспечения производства сырьем, материалами, комплектующими изделиями, специальной техникой, кадрами, транспортом применительно к тем или иным периодам времени;

- графики внешних и внутренних перевозок применительно к тем или иным периодам времени.

С помощью АРМов решаются в режиме диалогового проектирования задачи, относящиеся к конструкторским и технологическим САПР, в первую очередь следующие:

- сравнение и выбор проектных вариантов;
- проектирование специальной оснастки и инструмента;
- проектирование процессов сборки;
- управление процессами комплектования заказов и партий обработки;
- управление автоматизированными складами и транспортными системами;
- мониторинг оборудования.

С помощью АРМов можно решать такие неизбежные для любого многономенклатурного производства задачи, как оформление заказов, учет наличия и уровней запасов сырья, материалов, комплектующих и готовых изделий. АРМы применяются также для составления и документирования различного рода отчетов и прогнозов, например продаж, а также для документирования различных операций складирования и транспортировки.

8.3. CALS-технологии

В настоящее время в области информационных технологий сформировалось самостоятельное направление, получившее в англоязычной научно-технической литературе название CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывные поставки и поддержка жизненного цикла). Русскоязычное наименование такой информационной технологии — ИПИ, что означает «Информационная поддержка жизненного цикла изделий».

В справочнике НАТО, датированном мартом 2000 г., CALS определяется как «...совместная стратегия государства и промышленности, направленная на совершенствование существующих процессов в промышленности путем их преобразования в информационно-интегрированную систему управления жизненным циклом изделий».

В настоящее время CALS — это концепция, объединяющая принципы и технологии информационной поддержки жизненного цикла продукции на всех стадиях этого цикла, основанная на использовании интегрированной информационной среды, обеспечивающая единообразные способы управления процессами вза-

имодействия всех участников подобного цикла, а именно, заказчиков продукции, включая государственные учреждения и ведомства, поставщиков, в том числе производителей, продукции, а также ремонтного и эксплуатационного персонала. Эти способы должны реализовываться в соответствии с требованиями действующих международных стандартов, которые регламентируют правила такого взаимодействия.

Основное содержание концепции CALS составляют инвариантные понятия, которые реализуются полностью или частично в течение жизненного цикла продукции независимо от ее назначения и физической природы. Общая структура концептуальной модели CALS приведена на рис. 8.2.

Основу концептуальной модели CALS составляет *интегрированная информационная среда*. В интегрированной информационной среде действует единая система правил представления и хранения информации, а также обмена ею, в соответствии с которыми протекают информационные процессы, сопровождающие и поддерживающие жизненный цикл изделия. В этом реализуется главный принцип CALS, который заключается в том, что однажды возникшая информация сохраняется в интегрированной информационной среде и становится доступной всем участникам жизненного цикла в соответствии с существующими правилами доступа к информации. CALS представляет собой логически структурированный набор принципов и технологий, реализующих стра-

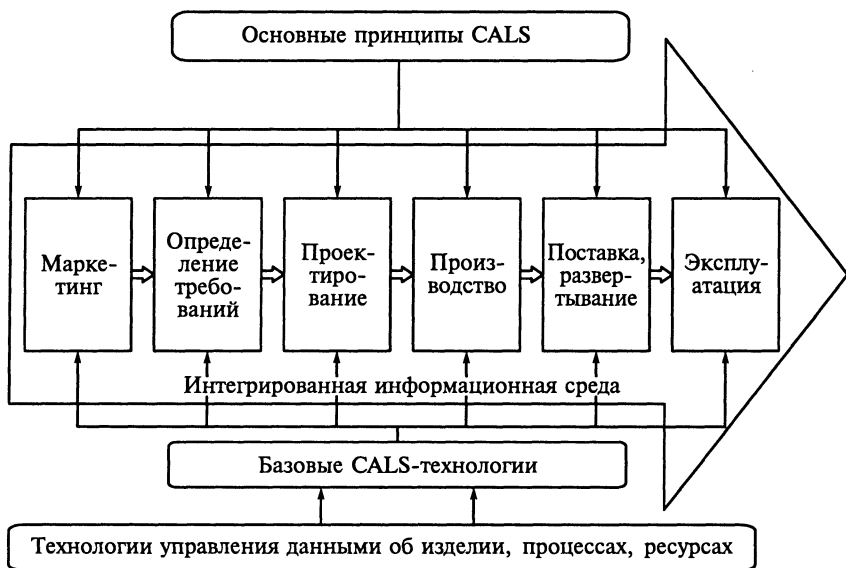


Рис. 8.2. Концептуальная модель CALS

тегию построения интегрированной информационной среды, поддерживающей жизненный цикл сложных изделий.

Программой основой построения интегрированной информационной среды является специализированный класс программных систем, получивший название PDM-систем (Product Data Management). Системы типа PDM обобщают такие технологии, как управление документами, конструкторскими и технологическими данными об изделии, управление проектами, работами и ресурсами.

Можно выделить три типа базовых технологий, комплексная реализация которых позволяет отслеживать и контролировать процесс разработки и выпуска продукции:

- управление конфигурацией изделия;
- управление качеством;
- управление проектами, работами и ресурсами.

Управление конфигурацией изделия заключается в обеспечении соответствия фактических свойств изделия заданным требованиям заказчика.

Управление качеством сводится к обеспечению удовлетворенности потребителя.

Наконец, управление проектами, работами и ресурсами сводится к проверке и обеспечению хода работ по проектам, а также к проверке и обеспечению расходования соответствующих ресурсов.

Начиная с середины 1990-х гг. практически все отечественные машиностроительные предприятия стали переходить к позаказному изготовлению продукции, имеющей целый ряд разновидностей.

С переходом на позаказное изготовление продукции у предприятий-изготовителей возникает необходимость в отслеживании и контроле тех производственных процессов, которые необходимы для выпуска продукции, имеющей ряд разновидностей. При этом должны обеспечиваться требования, предъявляемые заказчиком, а также максимально возможный уровень *унификации компонентов изделия*. В первую очередь, это распространяется на конструкторскую подготовку производства.

В интегрированной информационной базе предприятия *конфигурация изделия* представляется древовидной иерархической структурой, элементами которой являются объекты конфигурации. Каждый объект конфигурации представляет собой изделие или его часть, осуществляющую в конечном счете какую-либо функцию. Заметим, что понятие «конфигурация» здесь используется в более широком смысле, чем такое его толкование, при котором конфигурация есть внешнее очертание или взаимное расположение предметов либо их частей. Здесь под конфигурацией понимается совокупность функциональных, физических и эксплуатационных

свойств изделия, предлагаемого к разработке, разрабатываемого или уже существующего, сгруппированных в соответствии со структурой данного изделия и отражаемых в документах, соответствующих различным стадиям жизненного цикла этого изделия.

Конфигурация в целом и составляющие ее объекты конструирования должны быть соответствующим образом документированы, а эти документы утверждены. В качестве документации конфигурации обычно рассматривают различного рода технические требования, чертежи изделия или массивы электронных данных аналогичного назначения.

На стадии проработки контракта и технического задания формируется функциональная документация, которая должна быть соответствующим образом утверждена.

При построении интегрированной информационной среды следует учитывать существующие международные нормативные документы. Они подразделяются на четыре группы.

К первой из этих групп следует отнести методологические инструкции и международные стандарты, разработанные *международной организацией по стандартизации (ISO)*.

Методологическая инструкция ISO 10007. Эта инструкция состоит из следующих разделов.

- Система управления конфигурацией, описания и цели, где описываются основные задачи управления конфигурацией, определяется перечень основных процедур, осуществляемых в рамках управления конфигурацией.

- Процесс управления конфигурацией, где описываются процедуры, осуществляемые в рамках управления конфигурацией, а именно идентификация, контроль, учет статуса, аудит (проверка).

- Организация управления конфигурацией, где определяется организационная структура, реализующая управление конфигурацией, описываются ее основные функции, обязанности и полномочия.

- Процедура управления конфигурацией:

- 1) выбор объекта конфигурирования с учетом заданных критериев;

- 2) правила нумерации при идентификации объекта конфигурирования;

- 3) определение функций менеджера по управлению конфигурированием;

- 4) рекомендации по идентификации, оценке, утверждению и внесению изменений в конфигурацию изделия;

- 5) ведение отчетности по конфигурации, механизм согласования и утверждения конфигурации;

- 6) рекомендации по разработке плана управления конфигурацией.

В приложениях к этой инструкции приводится рекомендуемая структура и содержание плана управления конфигурацией, связь управления конфигурацией с другими стандартами ISO, а также пример взаимодействия основных процедур, осуществляемых в рамках управления конфигурацией, с этапами жизненного цикла изделия.

Международный стандарт ISO 10303-203 регламентирует схему данных и набор информационных объектов и их атрибутов, необходимых для описания конструкции изделия. К этим данным относятся:

- идентификационные данные об изделии, его составе и конфигурации, относящиеся к этапу проектирования;
- данные об изменениях в конструкции и их документировании;
- обозначения страны, отрасли промышленности, предприятия;
- данные о применяемости материалов изделия;
- данные, необходимые для контроля утверждения проекта;
- обозначения поставщиков и их оценка;
- данные о контракте;
- сведения о возможной секретности;
- сведения, используемые или полученные в результате анализа или испытания.

Для единообразного описания изделий рекомендуется создавать их информационные модели на базе типовых блоков с использованием специального языка EXPRESS-G.

Следует иметь в виду, что этот стандарт относится только к утвержденному и полностью завершеному проекту.

Международный стандарт ISO 10303-44 определяет виды ресурсов, необходимых для управления структурой и составом изделия в течение его жизненного цикла. Этот стандарт регламентирует:

- описание изделия в соответствии с требованиями потребителя;
- описание отношений между компонентами изделия;
- зависимости между техническими требованиями к изделию;
- управление конфигурацией изделия.

Ко второй группе относятся стандарты *Организации Североатлантического договора (NATO)*.

Стандарт STANAG 4159 содержит описание технических и эксплуатационных требований к изделию военного назначения, функциональные и физические признаки изделия, а также эксплуатационную информацию.

Стандарт STANAG 4188 описывает требования и процедуры, которые направлены на реализацию политики управления конфигурацией применительно к изделиям военного назначения.

К третьей группе относятся стандарты, разработанные *Американским Институтом инженеров по электротехнике и электронике (IEEE)*.

Стандарт IEEE Std 828 описывает планирование управления конфигурацией программного обеспечения.

Стандарт IEEE Std 1042 содержит руководящие указания по планированию управления конфигурацией программного обеспечения.

К четвертой группе относятся стандарты, разработанные Министерством обороны США (MIL), а также разработанный этим Министерством нормативный документ.

Стандарт MIL-STD-480 устанавливает требования, форматы и процедуры технологии управления конфигурацией, а также содержит инструкции по подготовке и передаче предложений на изменения.

Стандарт MIL-STD-481 является сокращенной формой стандарта MIL-STD-480 и описывает основные требования, форматы и процедуры контроля конфигурации.

Стандарт MIL-STD-483 описывает методы управления конфигурацией изделия и программного обеспечения.

Стандарт MIL-STD-973 заменяет ранее выпущенные стандарты MIL-STD-480, MIL-STD-481 и MIL-STD-483.

Как согласованная пара документов по управлению конфигурацией были разработаны стандарт MIL-STD-2549 и нормативный документ MIL-HDBK-61.

Стандарт MIL-STD-973 состоит из следующих разделов:

- цели, содержание и принципы управления конфигурацией промышленного изделия;
- планирование и управление конфигурацией на протяжении жизненного цикла промышленного изделия;
- процедуры технологии управления конфигурацией;
- управление данными.

В нормативном документе MIL-HDBK-61 содержится следующее:

- рекомендации по принципам, методам и практике управления конфигурацией промышленного изделия;
- руководящие указания по проведению идентификации и контроля конфигурации, учету статуса конфигурации и ее проверке;
- рекомендации по способам определения степени достижения целей управления конфигурацией и методам совершенствования процесса;
- руководящие указания по управлению данными.

8.4. Управление конфигурацией изделия

Понятие «конфигурация» может толковаться по-разному в зависимости от контекста, в котором оно применяется. Понятие «контекст» обозначает возможность описания той области, в ко-

торой создается данный объект, на различных стадиях жизненного цикла изделия с различных точек зрения. Наиболее существенными являются:

- потребительский контекст;
- организационно-производственный контекст;
- конструкторский контекст.

Рассмотрим перечисленные наиболее существенные точки зрения.

С точки зрения потребителей сложных изделий технология управления конфигурацией выглядит как многоступенчатый процесс формирования и анализа разнообразных требований к свойствам и структуре конечного изделия, а также многократного подтверждения того, что эти требования выполняются на разных стадиях жизненного цикла изделия.

С точки зрения потребителей технология управления конфигурацией состоит в следующем:

- декомпозиция общих требований к конечному изделию, произведенная таким образом, чтобы выделить из этих требований такие группы, которые можно однозначно сопоставить с конкретными компонентами конечного изделия;

- формирование информационной модели функциональной структуры конечного изделия, состоящей из выделенных компонентов;

- сопоставление предъявленных к конечному изделию и к его выделенным компонентам требований со свойствами конкретных конструкторских решений, реализующих по предложению разработчика эти компоненты;

- выявление отклонений и принятие решения об изменении конструкции конечного изделия и его компонентов, имеющих своей целью сближение заданных требований и получаемых характеристик;

- проверка корректности информационной модели, отображающей произведенные изменения.

После внесения и соответствующего документирования изменений конструкции конечного изделия и его компонентов процесс сопоставления требований и реально получаемых свойств может повторяться. В результате, исходная конфигурация изделия может быть скорректирована, а в пределе полностью заменена.

Эти действия могут повторяться и на последующих этапах жизненного цикла изделия, например после завершения процесса проектирования, изготовления и испытаний опытного образца, установочной серии, головного образца, а также в процессе использования конечного изделия по назначению.

Для выполнения названных действий заказчик и поставщик изделия согласованно назначают специальное уполномоченное лицо, называемое менеджером по конфигурации (Configuration Manager).

На него возлагается ответственность за логическую совместимость и достаточность информации об изделии в целом и его компонентах, подготовку отчетности о состоянии конфигурации конечного изделия, а также за то, чтобы документы, относящиеся к конфигурации конечного изделия, в любой момент времени сохраняли свою актуальность.

С организационно-производственной точки зрения основным определяющим документом всего комплекса мероприятий по разработке и изготовлению изделия является *план управления конфигурацией*. Его основной целью является описание мероприятий по управлению указанным процессом на различных этапах жизненного цикла изделий.

В существующих нормативных документах нет жестких указаний, однозначно определяющих содержание плана по управлению конфигурацией.

Любой документ может быть принят за такого рода план, если он в необходимой степени отражает информационное содержание процесса управления конфигурацией и учитывает специфику производства конкретного изделия. Структура плана по управлению конфигурацией приведена в виде структурной схемы на рис. 8.3.

Конструкторский контекст процесса управления конфигурацией необходимо учитывать с самого начала этого процесса и на всех стадиях жизненного цикла изделия. С учетом этого контекста на основании информационной модели, отображающей функциональную базовую конфигурацию, формируется проектная базовая конфигурация, которая используется в технологическом, производственном, эксплуатационно-ремонтном и других контекстах.

В процессе проектирования изделия целесообразно преобразовать исходную информационную модель в новую, проектную, модель, в которой исходные функциональные компоненты конечного изделия разбиваются на компоненты низших рангов (агрегаты, узлы или подузлы). Это облегчает принятие технических проектных решений как по конечному изделию в целом, так и по входящим в него компонентам.

В конструкторском контексте общие технические требования к конечному изделию преобразуются в технические требования и условия, которым должны удовлетворять компоненты этого конечного изделия.

Для управления конфигурацией конечного изделия в конструкторском контексте используются следующие понятия, принятые в отечественной промышленности.

Базовое изделие — это изделие, на которое на некоторую дату разработан и утвержден в установленном порядке полный комплект конструкторской документации. Базовое изделие является



Рис. 8.3. Структурная схема организации процесса управления конфигурацией

основой, на которой разрабатываются различные модификации и исполнения.

Модификация изделия — это разновидность, создаваемая на основе базового изделия в связи с изменением его функционально-

сти, а именно в связи с ее расширением в сторону большей универсализации, или, наоборот, в связи с ее сужением в сторону большей специализации.

Исполнение изделия — это разновидность изделия, создаваемая на основе базового изделия в целях обеспечить возможность его использования в специфических условиях окружающей среды либо с целью удовлетворить специфические требования заказчика.

Примером может служить тропическое исполнение того или иного изделия.

Базовое изделие и все его разновидности, такие как модификации и исполнения, образуют семейство изделий.

Существуют эмпирические правила, согласно которым выбор варианта исполнения или той или иной модификации компонента ограничивается возможностью использования лишь определенного варианта данного компонента. Такие правила называются *правилами совместимости*. Выявление, формулировка и соблюдение этих правил является одной из важнейших сторон управления конфигурацией.

Проблема выработки таких правил совместимости, называемых также правилами-«фильтрами», является весьма важной. Эта проблема по своему содержанию является чисто конструкторской, поскольку обоснованно назначить такие правила может только конструктор — разработчик данного изделия. С точки зрения компьютерного управления конфигурацией здесь возникают две задачи:

- создание базы данных, содержащей описание конструктивных компонентов со всеми присущими им атрибутами, свойствами и характеристиками, а также ссылки на соответствующую техническую документацию; в этой же базе данных могут храниться и полные описания уже созданных изделий;
- создание базы знаний, содержащей правила совместимости.

Правила совместимости, иначе называемые производственными правилами, представляют собой фразы типа [УСЛОВИЕ — ДЕЙСТВИЕ], т. е. «если выполняется [УСЛОВИЕ], то необходимо совершить [ДЕЙСТВИЕ]». Правила совместимости учитывают ограничения, накладываемые, например, конструктивными размерами изделия, эффективностью применения того или иного изделия и др.

Выполнение правил совместимости заключается в изменении структуры изделия в соответствии со значением, вкладываемым в понятие [ДЕЙСТВИЕ].

Эти правила могут храниться в базе знаний, например в форме готовых таблиц возможных, т. е. допустимых конструкторских решений или же в форме матриц.

8.5. Методики и алгоритмы управления конфигурацией изделия на различных стадиях жизненного цикла

Программой основой для создания интегрированных информационных сред, обеспечивающих возможность управления конфигурацией конечного изделия, при понимании понятия «конфигурация» в широком смысле, являются специальные проблемно-ориентированные программные системы, называемые системами класса PDM (Product Data Management). В настоящее время системы класса PDM разработаны рядом крупнейших фирм и поступают в коммерческую продажу.

Основное назначение PDM-системы — это интегрированное электронное описание изделия на всех стадиях его жизненного цикла. С помощью систем такого рода осуществляется отслеживание больших и постоянно обновляющихся массивов инженерно-технических данных, необходимых на всех этапах проектирования и производства изделия, а также поддержка изделия на этапах его эксплуатации, сопровождения и утилизации.

Системы такого рода отличаются от универсальных систем управления базами данных тем, что они интегрируют информацию, поступающую из различных источников в любых форматах и типах, и предоставляют ее пользователям в структурированном виде. В отличие от интегрированных систем офисного документооборота такого рода системы работают не только с текстовыми документами, но и с геометрическими моделями и данными.

С помощью PDM-систем пользователи могут обращаться к любым данным, относящимся к различным стадиям разработки изделий, например к чертежам, диаграммам и спискам.

PDM-системы в полном объеме реализуют функции управления составом изделия и его структурированием и управляют соответствующим обменом данными.

Они обеспечивают создание различных взаимозависимых и взаимоувязываемых спецификаций — конструкторских, технологических, заказных, на покупные изделия, спецификаций поставок и др.

Наряду с управлением данными современные PDM-системы обеспечивают также и управление проектами, т. е. процессами разработки изделий, контролируя информацию об изделии, вносимых изменениях, а также осуществляя авторизацию.

Основными из *функциональных возможностей* современных PDM-систем являются:

- управление хранением данных и документами;
- управление информационно-справочной системой предприятия;

- управление конструкторско-технологической подготовкой производства;
- автоматизация генерации выборок и отчетов;
- управление изделием на этапе эксплуатации;
- поддержка менеджмента качества.

Анализ функциональных возможностей различных PDM-систем показывает, что к настоящему времени наиболее подходящей программной реализацией такого рода систем является отечественная разработка НИЦ «Прикладная логистика», получившая название PDM STEP SUITE (PSS).

Для реализации технологии управления конфигурацией эта система дополняется специальным программным блоком, реализующим следующие функции:

- настройка системы на конкретные рабочие места пользователей;
- работа с требованиями, предъявленными к изделию;
- планирование и контроль работ по формированию новой конфигурации изделия;
- сопоставление получаемых реальных характеристик изделия с предъявленными требованиями;
- редактирование конфигурации конечного изделия;
- согласование и утверждение в установленном порядке конфигурации изделия на различных этапах его жизненного цикла;
- формирование документации на конфигурацию и соответствующих отчетов.

Часть сведений из общей базы данных об изделии в этой системе передается заказчику, например, в форме каталогов компонентов, которые по требованиям данного заказчика могут быть применены в разрабатываемом для него изделии. Кроме того, для удовлетворения уникальных требований заказчика могут быть специально разработаны дополнительные компоненты.

Для наиболее полного описания информационных объектов, включаемых в систему управления конфигурацией изделия, используются такое понятие как «характеристика», описывающая параметр, относящийся к изделию или к его версии, например «масса», «габаритные размеры», «тип системы охлаждения», а также понятие «категория», которое объединяет изделия или документы по какому-либо признаку. Между категориями могут существовать отношения иерархии.

Общая база данных об изделии в программной среде PDM-систем содержит следующие разделы:

- архив готовых решений по компонентам;
- архив готовых проектов;
- база данных текущего проекта.

Работы по управлению конфигурацией изделия с помощью PDM-систем включают в себя ряд этапов.

Первым из этих этапов является определение требований заказчика к изделию. На этом этапе используется следующая информация, поступающая из общей базы данных об изделии:

- сведения из «Архива готовых решений по компонентам», в которых содержится информация по тем изделиям и их разновидностям, которые с точки зрения заказчика могут рассматриваться как дополнительные компоненты к соответствующим вариантам конечного изделия. Эта информация может предоставляться заказчику;

- сведения из «Архива готовых проектов», в которых содержится информация о ранее выполненных проектах. Эта информация также может предоставляться заказчику.

Информация может предоставляться заказчику либо в бумажной форме, либо в виде электронного документа, представляющего собой обменный файл.

На основании полученных сведений заказчик формулирует требования, которые он может предъявить к конечному изделию. При этом он совершает следующие действия:

- производит анализ полученных им сведений о базовом изделии и его разновидностях;

- выбирает базовую конфигурацию, на основе которой будет разрабатываться новое изделие;

- проводит анализ полученных им сведений о дополнительных компонентах, которые могут быть использованы в конструкции нового изделия;

- выбирает дополнительные компоненты, которые должны быть использованы в конструкции нового изделия;

- назначает специфические требования к новому изделию.

Сформулированные заказчиком требования передаются производителю либо в форме утвержденной копии бумажного документа, либо в виде электронного документа, представляющего собой обменный файл.

В тех случаях, когда заказчик не формулирует свои требования к изделию, а ограничивается описанием тех конкретных задач, которые должно решать это изделие, подобные требования к изделию приходится формулировать производителю. Он должен стремиться подобрать соответствующее проектное решение из числа готовых.

На втором этапе управления конфигурацией изделия с помощью PDM-систем менеджеру по управлению конфигурацией необходимо в разделе «База данных текущего проекта» построить функциональную конфигурацию конечного изделия. Построение такой конфигурации сводится к группированию предъявленных требований по функциям конечного изделия. Она представляется в виде многоуровневой древовидной структуры, узлами которой являются объекты конфигурирования.

Осуществляется такое построение следующим образом.

Все требования заказчика бывают четырех типов.

Первый тип — это требования, относящиеся к «постоянной части» имеющегося проекта, которые содержат количественные значения требуемых характеристик изделия. Например, применительно к металлорежущим станкам такие требования могут иметь вид: «Мощность главного привода [значение]».

Второй тип — это требования, относящиеся к компонентам конечного изделия, которые обычно носят качественный характер. Например, применительно к металлорежущим станкам такие требования могут иметь вид: «Окраска станка [цвет]».

Третий тип — это специфические требования заказчика к конечному изделию, которые однозначно определяют принимаемые технические решения. Например, применительно к металлорежущим станкам такие требования могут иметь вид: «Установить мотор-шпиндель FANUC Alpha 6».

Четвертый тип — это требования к функциям, выполняемым конечным изделием. Например, применительно к металлорежущим станкам такие требования могут иметь вид: «Освещать зону резания».

После получения и формализации требований заказчика к готовому конечному изделию менеджер по управлению конфигурацией должен в рамках процедуры контроля осуществить проработку этих требований, в частности установить связи между этими требованиями и конструкторскими решениями, представляющими собой различные версии компонентов, которые не требуют доработки и могут быть включены в состав конечного изделия. Программная среда PSS позволяет автоматизировать этот процесс. После проработки требований заказчика к готовому конечному изделию объект конфигурации должен получить статус «проект выполним».

После проработки требований заказчика к готовому конечному изделию начинается процесс конструкторской проработки изделия.

Здесь менеджеру по конфигурации необходимо в рамках процедуры контроля конфигурации использовать, если это возможно, имеющиеся готовые конструкторские решения, а если это невозможно, то для конструкторских решений, нуждающихся в доработке, инициировать изменения, определить последовательность их внесения, внести изменения в структуру изделия, а также оценить эффективность каждого изменения, соотнеся между собой степень удовлетворения требований заказчика, обеспечиваемых внесением данного изменения, и величину необходимых для этого затрат.

По мере удовлетворения требований заказчика к конечному изделию формируется конструкторское дерево проекта, описыва-

ющее проектную конфигурацию конечного изделия. Эта процедура осуществляется конструкторами, работающими над проектом изделия.

Следует заметить, что в принципе при формировании конструкции изделия или какого-либо его компонента возможны два подхода.

Первый подход состоит в декомпозиции требований к конечному изделию или к его компонентам на требования более низких иерархических уровней, для того, чтобы однозначно сопоставить их сборочным единицам или деталям, входящим в состав компонента.

Декомпозиция требований заказчика на требования более низких уровней и составление их иерархии, осуществляемая на стадии конструкторской подготовки, является творческим актом и осуществляется конструкторскими службами разработчика.

Второй подход состоит в том, что вначале формируется структура изделия, а потом проектируется каждый компонент в этой структуре.

Тогда результирующие требования, которым будет удовлетворять конечное изделие, состоящее из спроектированных компонентов, будут определены как итог импортирования требований, которые обеспечивает каждый компонент.

После того как на стадии конструкторской подготовки производства будет сформирована проектная база конфигурации и отражающая ее базовая документация будет соответствующим образом утверждена, начинается процесс технологической подготовки производства изделия.

Следует отметить, что в проектную документацию помимо комплекта конструкторской документации на конечное изделие должны входить также данные о проверках и расчетах, которые свидетельствуют о выполнении предъявленных к конечному изделию требований.

В результате работы такого рода интегрированной системы конструкторско-технологической подготовки производится подготовка комплекта необходимой конструкторско-технологической документации, включая сборочные и рабочие чертежи, спецификации, маршрутные и операционные карты, схемы базирования и зажима и др.

При производстве каждого экземпляра изделия в соответствии с разработанной конструкторско-технологической документацией в соответствие ему ставятся его атрибуты, заводской номер, а также дата выпуска, результаты выходного контроля и испытаний данного экземпляра изделия.

Вся информация о выполненном проекте помещается в раздел общей базы данных об изделии, называемый «Архив готовых проектов».

8.6. Интегрированная организация производственно-сбытовой деятельности

Современный подход к организации производственно-сбытовой деятельности заключается в том, что эта деятельность рассматривается как единое, интегрированное, целое, преследующее некоторую общую цель. Такой подход можно назвать *дедуктивным*.

При традиционном подходе к организации производственно-сбытовой деятельности, который можно назвать *индуктивным*, общий результат получается вследствие объединения результатов деятельности компонентов производственно-сбытовой системы, каждый из которых преследует свою собственную частную цель.

Этот современный интегрированный подход к организации производственно-сбытовой деятельности основывается на принципах, которые получили общее название «логистика». Сам термин «логистика» происходит от древнегреческого слова «logistike», что можно перевести как «умение рассуждать, принимать обоснованные решения, проводить практические расчеты».

Оба этих методологических подхода к организации производственно-сбытовой деятельности — традиционный и современный интегрированный логистический — изображены на рис. 8.4. На этом рисунке материальный поток изображается символом \Rightarrow , а информационный — символом \rightarrow .

Суть *интегрированного логистического* подхода к организации производственно-сбытовой деятельности состоит в том, что лицу, принимающему решения, например генеральному директору фирмы, следует исходить из общих интересов фирмы, которые ему в соответствии с его разумением ясны. При этом ему следует добиваться экономического компромисса между интересами начальников подчиненных ему специализированных служб, которые могут не совпадать, а иногда и противоречить друг другу. Так, например, главный бухгалтер заинтересован в уменьшении уровня запасов и их разнообразия, так как для него это означает омертвление капиталов, которыми можно было бы пользоваться, положив в банк под проценты.

Наоборот, начальник управления материально-технического снабжения заинтересован в повышении уровня запасов и их разнообразия, так как это позволит ему оперативно положительно реагировать на все задумки главных конструктора и технолога, а также начальника производства.

Современное многономенклатурное машиностроительное производство должно обладать *количественной и качественной гибкостью*. Это становится особенно важным в условиях, когда нужно оперативно реагировать на поступающие заказы, т.е. производ-

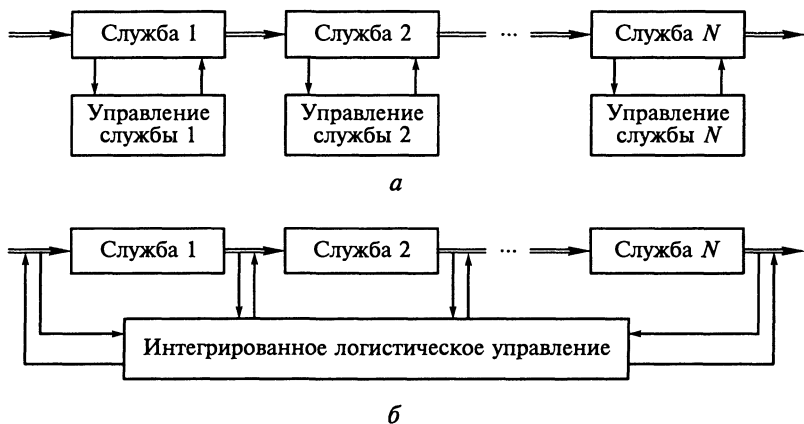


Рис. 8.4. Традиционное и интегрированное управления:

а — традиционное управление; *б* — интегрированное логистическое управление

ство должно обладать способностью быстро и в широких пределах изменять объемы и ассортимент выпускаемой продукции.

Количественные и качественные изменения спроса на продукцию предприятия могут в известной мере сглаживаться созданием запасов этой продукции. При этом предприятие может работать в своем собственном ритме, а запасы продукции создаются на всякий случай. Однако в таком случае значительные капиталы оказываются омертвленными. Издержки на хранение готовой продукции возрастают, и, следовательно, увеличивается стоимость этой продукции. Кроме того, создание значительных запасов готовой продукции старого типа приводит к известному консерватизму фирмы, что снижает ее возможности в конкурентной борьбе.

Качественная гибкость современного многономенклатурного машиностроительного производства достигается путем повышения квалификации производственного персонала всех уровней за счет высокой степени автоматизации на основе применения компьютеризации всех стадий подготовки производства и собственно производственных процессов, а также за счет интеграции всех этих стадий.

Количественная гибкость современного многономенклатурного машиностроительного производства достигается путем создания внутренних резервов рабочей силы и производственных мощностей, включая резервы оборудования. Если в условиях административно-командной системы хороший руководитель обязан был максимально (в идеале — на все 100 %) загружать дорогостоящее высокопроизводительное технологическое оборудование, то при

показанной работе хорошим будет тот руководитель, у которого это оборудование эксплуатируется с запланированным недогрузом, и, следовательно, в распоряжении руководителя имеются резервные производственные мощности, которые позволяют ему гибко и оперативно реагировать на поступающие заказы.

Сопоставление обоих методологических подходов к организации производства производится в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Показатель	Традиционная организация производства	Интегрированное производство
Объем производственных запасов	Максимально возможный	Отказ от избыточных запасов
Время выполнения производственного цикла	Допущение увеличения времени выполнения, если это снижает производственные издержки	Недопущение увеличения времени выполнения ни в коем случае
Номенклатура изготавливаемых изделий	Минимизация	В соответствии с принятыми заказами
Объемы выпуска	Выпуск максимально крупными партиями	Отказ от выпуска продукции, не подтвержденной заказами
Простои оборудования	Минимизируются, а в идеале не допускаются	Планируются для создания резервов мощностей
Уровень брака	Допускается технологически обоснованный уровень брака	Брак недопустим, если это может привести к снижению экономического эффекта
Внутризаводские перевозки	Осуществляются в соответствии с принятой организацией технологического процесса	Нерациональные перевозки устраняются, а технологический процесс реорганизуется
Отношения с поставщиками	Рассматриваются как противостоящая договорная сторона	Рассматриваются как партнеры по общему делу
Производственный персонал	Квалификация повышается в рамках специализации	Квалификация повышается в целях универсализации

При организации производственно-сбытовой деятельности рассматривают два принципиально разных случая: удовлетворение разового и удовлетворение повторяющегося заказа.

При удовлетворении разового заказа прежде всего выясняется путем обращения в автоматизированный «Архив готовых проектов», не выполнялся ли этот заказ в прошлом. После такой проверки и подтверждения оригинальности заказа, он передается в конструкторско-технологическую службу, где прорабатывается возможность проектирования изделия с удовлетворением требований заказчика, подбираются конструктивные аналоги и типовые технологические решения.

Затем информация о заказе поступает в бюро обеспечения инструментом и оснасткой, где проверяется возможность удовлетворения данного заказа стандартными инструментом и оснасткой, а также изготовления или приобретения требующихся специальных инструментов и оснастки.

После этого информация о заказе поступает в бюро технико-экономического планирования, где определяется возможный срок выполнения заказа и составляется его сметная калькуляция. Эта информация поступает также в планово-производственное бюро, где проверяется реальность соответствующих этому сроку моментов запуска и выпуска всех относящихся к данному изделию деталей, а также моментов поступления всех необходимых комплектующих.

После всех этих проверок данные о заказе поступают в финансово-сбытовое бюро, где прорабатываются вопросы, связанные с оформлением договора. После заключения договора открывается заказ, который необходимо выполнять. Выполнение заказа начинается с работы конструкторско-технологической службы, которая разрабатывает всю требующуюся техническую документацию и выявляют информацию, необходимую для технологической подготовки производства и для разработки управляющих программ оборудования с ЧПУ. Одновременно данные о вновь открытом заказе поступают в плановые службы, где производятся необходимые действия по его включению в производственные программы, и в бюро обеспечения инструментом и оснасткой, где осуществляются действия, необходимые для комплектации данного заказа инструментом и оснасткой.

После завершения конструкторско-технологической подготовки производства заказ снова поступает в планово-производственное бюро, где соответствующие работы включаются в квартальные, месячные и суточные производственные планы. Во время производственного процесса эти планы оперативно корректируются на основе поступающей информации о ходе производства.

Изготовленные детали и компоненты поступают на склад готовых деталей. В соответствии с планом выпуска подсистема уп-

рвления сборочным производством комплектует детали и другие компоненты изделия согласно заказу и организует работы по сборке изделия. Собранные и прошедшие испытания и приемку изделия поступают на склад готовой продукции. Сведения о поступлении заказанного изделия на склад готовой продукции передаются в финансово-сбытовое бюро, где оформляется сдача этого изделия заказчику согласно действующему договору.

Если после передачи информации о заказе в автоматизированный архив выясняется, что такие изделия уже выпускались в прошлом, то нет необходимости заново выполнять всю конструкторско-технологическую подготовку. Действия, связанные с организацией, планированием и управлением производством, также как и с взаимодействием с заказчиком, выполняются в полном объеме.

Информационное обеспечение интегрированного производства включает в себя:

- описание методов контроля вводимых данных, их состава и структур, запросов и отчетов, а также способов размещения вводимой информации;
- справочную информацию о возможностях и назначении тех или иных АРМов;
- диагностические сообщения;
- подсказки различных меню;
- меню функций, а также описание входа и выхода для различных меню.

Одним из важнейших компонентов информационного обеспечения создаваемой интегрированной производственной системы является надлежащим образом организованный *документооборот*. Организовать документооборот — это значит задать формы используемых документов и определить порядок их циркулирования. При этом надо стремиться использовать те формы документов, которые являются общепринятыми и общепризнанными и базируются на использовании международных, отраслевых, а также локальных классификаторов.

Хотя в настоящее время существует тенденция, согласно которой расширение масштабов компьютеризации должно со временем привести к тому, что традиционная конструкторская, технологическая и планово-производственная документация на бумажных носителях будет исключена из обращения и заменена внутрикомпьютерными массивами, правильным образом организованный документооборот всегда будет оставаться существенной частью всякой производственно-сбытовой деятельности. Это объясняется следующими основными причинами:

- необходимость обеспечения связи автоматизированного интегрированного производства со смежными службами и производствами, работающими в рамках традиционной технологии;

- необходимость перехода с автоматического на ручной или наладочный режим с регистрацией действий, произведенных персоналом;

- необходимость сохранения и поддержания информации в случае возможного отказа средств компьютеризации.

Все данные, используемые для любой производственно-сбытовой деятельности, можно подразделить на две группы. Во-первых, это нормативная, учетно-справочная или директивная информация, которая выдается по мере ее формирования либо по инициативе соответствующего лица или устройства, а во-вторых, это внутрикомпьютерные модели.

Нормативная и директивная информация поступают в интегрированную систему управления автоматизированным производством от локальных систем оперативно-календарного планирования, представляющих собой программно-аппаратный интерфейс между производственным комплексом и службами предприятия. Этими же данными может пользоваться и персонал различных уровней.

Учетно-справочная информация отражает реальный ход производственно-сбытового процесса за счет использования создаваемых и поддерживаемых внутрикомпьютерных моделей.

В общем случае создания интегрированной производственно-сбытовой системы ее информационная структура состоит из следующих компонентов:

- методы организации информационного обеспечения;
- системы классификации и кодирования;
- взаимосвязи между источниками и адресатами информации;
- комплекты форм и видеogramм документов;
- внутрикомпьютерные массивы информации;
- перечень и характеристики входной информации, а именно данные и сигналы;
- перечень и характеристики выходной информации, а именно данные, отчеты и сигналы.

Алгоритм всякой производственно-сбытовой деятельности однозначно определяется технологическим процессом преобразования соответствующей информации.

Контрольные вопросы

1. Чем обуславливается необходимость интеграции всех стадий подготовки производства и самого производственного цикла в машиностроении?

2. Какая документация должна создаваться на этапе эскизного, технического и рабочего проектирований системы автоматизации?

3. Для чего на современных машиностроительных предприятиях создается система АРМов?

4. Что такое CALS-технологии?
5. Что составляет основу концептуальной модели CALS?
6. Что называется программными PDP-системами?
7. Что из себя представляет отечественная программная среда PSS?
8. Какие действия должен выполнять менеджер по конфигурации?
9. Какие существуют международные стандарты по конфигурации изделия и что ими регламентируется?
10. Что называется базовым изделием?
11. Как организуется прохождение заказа в случае, когда этот заказ является повторяющимся и когда он является оригинальным?
12. Назовите разновидности требования заказчика.
13. В чем заключается процесс автоматизированного компьютерного проектирования и какая проектная документация разрабатывается в результате проведения автоматизированного компьютерного проектирования?
14. Куда помещается разработанная проектная информация?
15. Какой подход к организации производственно-сбытовой деятельности можно назвать дедуктивным?
16. Какой подход к организации производственно-сбытовой деятельности можно назвать индуктивным?
17. Что включает в себя информационное обеспечение интегрированного производства?
18. Почему надлежащим образом организованный документооборот является неотъемлемой частью всякого интегрированного производства?
19. Что значит организовать документооборот?
20. Каким образом выдаются нормативная, учетно-справочная и директивная информация по производственно-сбытовой деятельности?
21. Чем интегрированное управление производственно-сбытовой деятельностью отличается от традиционного?
22. Какие критерии качества управления характерны для интегрированного подхода, а какие — для традиционного?
23. Какие требования к уровням запасов характерны для интегрированного подхода, а какие — для традиционного?
24. Какие требования к уровню брака характерны для интегрированного подхода, а какие — для традиционного?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация процессов машиностроения / под ред. А. И. Дашенко. — М. : Высш. шк., 1991. — 480 с.
2. Гибкие производственные системы Японии / под ред. Л. Ю. Лишинского. — М. : Машиностроение, 1989. — 260 с.
3. *Гжиров Р. И.* Программирование обработки на станках с ЧПУ / Р. И. Гжиров, П. П. Серебrenицкий. — Л. : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1990. — 588 с.
4. *Иващенко Н. Н.* Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем / Н. Н. Иващенко. — М. : Машиностроение, 1978. — 736 с.
5. *Карданская Н. Л.* Системы управления производством: анализ и проектирование / Н. Л. Карданская, А. Д. Чудаков. — М. : Русская деловая литература, 1990. — 240 с.
6. *Левин А. И.* Концепция и технологии компьютерного сопровождения процессов жизненного цикла продукции / А. И. Левин, Е. В. Судов // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. Компьютерное сопровождение индустриального бизнеса / под ред. А. Г. Братухина. — Киев : Техника, 2001. — С. 612—625.
7. Машиностроение : энциклопедия. В 7 т. — М. : Машиностроение, 1999.
8. *Рогов В. А.* Средства автоматизации производственных систем машиностроения / В. А. Рогов, А. Д. Чудаков. — М. : Высш. шк., 2005. — 400 с.
9. Толковый словарь по управлению / под ред. В. В. Познякова. — М. : Аланс, 1994. — 254 с.
10. *Феофанов А. Н.* Гибкие автоматические линии в машиностроении / А. Н. Феофанов. — М. : Янус-К, 2002. — 189 с.
11. *Черпаков Б. И.* Роль ИАСУ в функционировании автоматизированных заводов / Б. И. Черпаков, Е. В. Судов // Интегрированная АСУ автоматизированных производств. Сборник научных трудов ЭНИМС. — М., 1992. — С. 1—7.
12. *Чудаков А. Д.* Автоматизированное оперативно-календарное планирование в гибких комплексах механической обработки / А. Д. Чудаков, Б. Я. Фалевич. — М. : Машиностроение, 1986. — 224 с.
13. *Чудаков А. Д.* Логистика / А. Д. Чудаков. — М. : Русская деловая литература, 2001. — 480 с.
14. *Шандров Б. В.* Автоматизация производства (металлообработка) / Б. В. Шандров, А. А. Шапарин, А. Д. Чудаков. — М. : Изд. центр «Академия», 2002. — 256 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Датчики параметров для систем автоматизации	16
1.1. Общие характеристики датчиков производственных параметров	16
1.2. Основные виды типовых воздействий на датчики производственных параметров	22
1.3. Электроконтактные датчики	26
1.4. Реостатные датчики	30
1.5. Тензорезисторные датчики	32
1.6. Пьезоэлектрические датчики	34
1.7. Датчики производственных параметров на основе эффекта Холла	37
1.8. Емкостные преобразователи	38
1.9. Оптоэлектронные преобразователи	40
1.10. Электромагнитные преобразователи	45
1.11. Датчики положения для систем числового программного управления	50
1.12. Типовые способы измерения производственных параметров	53
Глава 2. Преобразование информации в системах автоматизации	57
2.1. Общие сведения о преобразовании информации в системах автоматизации производственных процессов	57
2.2. Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи	60
2.3. Усилители	66
2.4. Переключательные и логические элементы	77
2.5. Триггерные и пересчетные устройства	86
2.6. Преобразователи кодов	93
Глава 3. Исполнительные механизмы и сопутствующие им устройства	101
3.1. Общие требования к исполнительным механизмам в системах автоматизации	101
3.2. Управляемые исполнительные электродвигатели постоянного тока	104
3.3. Электродвигатели переменного тока	109
3.4. Синхронные шаговые электродвигатели	110

3.5. Электромагниты	112
3.6. Гидравлические серводвигатели	113
3.7. Пневматические серводвигатели	116
3.8. Исполнительные приводы металлорежущих станков	120
3.9. Сопутствующие электроприводам электроаппараты систем автоматизации технологического оборудования	125
3.10. Устройства гидросистем автоматизации, сопутствующие гидроприводам	131
3.11. Устройства пневмосистем автоматизации, сопутствующие пневмоприводам	137
Глава 4. Автоматизация станков и станочных комплексов	144
4.1. Автоматизация отдельных станков	144
4.2. Копировальные станки	150
4.3. Системы числового программного управления станками	156
4.4. Управляющие программы для станков с ЧПУ	162
4.5. Управление автоматическими циклами	166
4.6. Реализация систем управления на базе программируемых логических контроллеров	169
4.7. Локальные вычислительные сети в системах автоматизации	174
4.8. Автоматизация станочных комплексов	177
Глава 5. Гибкие автоматические линии в машиностроении	188
5.1. Основные понятия и классификация автоматических линий в машиностроении	188
5.2. Загрузочно-разгрузочные устройства автоматических линий в машиностроении	193
5.3. Гибкость автоматических линий машиностроения	198
5.4. Унифицированные узлы автоматических линий	202
5.5. Обработка на гибких автоматических линиях	207
5.6. Переналадки и межоперационные заделы	211
5.7. Запасы на входе и выходе автоматической линии	216
5.8. Конструкции складских устройств для организации зон запасов	222
5.9. Инвестирование и риски при создании и эксплуатации автоматических линий	228
Глава 6. Многономенклатурные комплексы обработки и сборки	234
6.1. Открытые технологические семейства деталей и типовые гибкие комплексы	234
6.2. Функции и структура системы управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки	240
6.3. Информационные связи систем управления комплексами многономенклатурной обработки и сборки	246
6.4. Автоматизированные транспортно-складские системы	251

6.5. Операции многономенклатурной обработки и сборки	258
6.6. Технические средства управления многономенклатурными комплексами обработки и сборки	262
6.7. Задание исходных данных для многономенклатурных комплексов обработки и сборки	266
6.8. Робототехнические комплексы	278
6.9. Качество систем управления многономенклатурной обработкой и сборкой	280
Глава 7. Системы автоматизированного проектирования	287
7.1. Структурный, геометрический и параметрический синтез изделий машиностроения	287
7.2. Автоматизированное конструкторское проектирование	289
7.3. Автоматизированное проектирование технологических процессов	293
7.4. Автоматизированное проектирование диспетчерского управления	299
7.5. Автоматизированная разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ	310
7.6. Автоматизированная разработка планов	316
7.7. Незавершенное производство на многономенклатурных комплексах обработки и сборки	321
Глава 8. Интегрированные системы автоматизированного проектирования и изготовления	327
8.1. Содержание этапов создания автоматизированного машиностроительного производства	327
8.2. Система автоматизированных рабочих мест на машиностроительном предприятии	332
8.3. CALS-технологии	336
8.4. Управление конфигурацией изделия	341
8.5. Методики и алгоритмы управления конфигурацией изделия на различных стадиях жизненного цикла	346
8.6. Интегрированная организация производственно-сбытовой деятельности	351
Список литературы	358

Учебное издание

**Шандров Борис Васильевич,
Чудаков Александр Давидович**

Технические средства автоматизации
Учебник

Редактор *Е. А. Балыко*
Технический редактор *Н. И. Горбачева*
Компьютерная верстка: *О. В. Пешкетова*
Корректоры *Н. Л. Котелина, Н. Т. Захарова*

Изд № 101112283. Подписано в печать 28.12.2006. Формат 60×90/16.
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Бумага тип. № 2.
Усл. печ. л. 23,0. Тираж 3 000 экз. Заказ № 18422.

Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.004796.07.04 от 20.07.2004.
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 360. Тел./факс: (495) 330-1092, 334-8337.

Отпечатано в ОАО «Саратовский полиграфический комбинат».
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. www.sarpk.ru