

32.96  
00.96

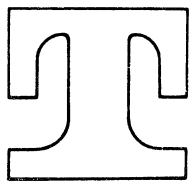
ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА  
И ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ



ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ

*В.Н. Шурков*

ОСНОВЫ  
АВТОМАТИЗАЦИИ  
ПРОИЗВОДСТВА  
И ПРОМЫШЛЕННЫЕ  
РОБОТЫ



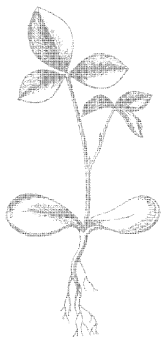
ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ

---

*В.Н. Шурков*

# ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

Допущено Министерством  
станкостроительной и инструментальной  
промышленности СССР  
в качестве учебного пособия  
для машиностроительных техникумов



МОСКВА  
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
1989

ББК 34.5-5-05я723

Ш96

УДК [[658.011.56+621.865.8] +  
+ [621.9.06-529+658.52.011.56.012.3]] (075.32)

Рецензенты: инж. **Н. Н. Галабурда**, канд. техн. наук **А. П. Бобров**

**Шурков В. Н.**

Ш96 Основы автоматизации производства и промышленные роботы: Учеб. пособие для машиностроит. техникумов.— М.: Машиностроение, 1989.— 240 с.: ил.

ISBN 5-217-00369-3

Рассмотрены основные направления развития автоматизации производства в машиностроении, включая этапы конструкторской, технологической подготовки производства и изготовления машин. Изложены особенности применения вычислительной техники на этих этапах. Особое внимание уделено вопросам автоматизации машиностроения на базе оборудования с ЦПУ и гибких производственных систем.

Ш  $\frac{2704010000-126}{038(01)-89}$  161—Св. план для сред. спец.  
учеб. заведений 1989

ББК 34.5-5-05я723

ISBN 5-217-00369-3 © Издательство «Машиностроение», 1989

## УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

---

АИК	— автоматизированный измерительный комплекс
АЛ	— автоматическая линия
АРМ	— автоматизированное рабочее место
АС	— автоматизированный склад
АСИО	— автоматизированная система инструментального обеспечения
АСНИ	— автоматизированная система научных исследований
АС ТПП	— автоматизированная система технологической подготовки производства
АСУО	— автоматизированная система удаления отходов
АСУП	— автоматизированная система управления предприятием
АСУ ТП	— автоматизированная система управления технологическими процессами
АТСС	— автоматизированная транспортно-складская система
ГАЛ	— гибкая автоматизированная линия
ГАУ	— гибкий автоматизированный участок
ГАЦ	— гибкий автоматизированный цех
ГПМ	— гибкий производственный модуль
ГПС	— гибкая производственная система
ЕСКД	— единая система конструкторской документации
ЕСПД	— единая система программной документации
ЕСТД	— единая система технологической документации
ЕС ТПП	— единая система технологической подготовки производства
ЕС ЭВМ	— единая система ЭВМ
К	— контроллер
МПК	— микропроцессорный комплект
ОС	— операционная система
ПК	— программируемый контроллер
ПР	— промышленный робот
РТК	— роботизированный технологический комплекс
САК	— система автоматизированного контроля
САП	— система автоматизированного программирования
САПР	— система автоматизированного проектирования
СМ ЭВМ	— система малых ЭВМ
СПО	— системное программное обеспечение
СУ	— система управления
СУБД	— система управления базами данных

СЧПУ	— система ЧПУ
ТПП	— технологическая подготовка производства
УВК	— управляюще-вычислительный комплекс
УП	— управляющая программа
УСО	— устройство сопряжения с объектом
УСПО	— универсально-сборная переналаживаемая оснастка
УЧПУ	— устройство ЧПУ
ЦПУ	— цикловое программное управление
ЧПУ	— числовое программное управление
ЭВМ	— электронная вычислительная машина

XXVII съезд КПСС утвердил «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года», которые намечают переход к экономике высшей организации со всесторонне развитыми производительными силами, совершенными социалистическими производственными отношениями и хорошо отлаженным народным хозяйством. Важнейшее значение в интенсификации производства имеет опережающее развитие машиностроительного комплекса и таких его базовых отраслей, как станкостроение, приборостроение, электротехническая промышленность.

Машиностроение — одна из ключевых отраслей социалистической экономики. Оно создает активную часть основных производственных фондов — орудия труда — и тем самым в значительной мере определяет возможности технического прогресса, роста общественного производства и эффективности развития всего народного хозяйства.

До недавнего времени развитие техники было связано в основном с получением, передачей, преобразованием и использованием различных видов энергии. В настоящее время оно все в большей степени становится связанным также и с проблемами получения, накопления, обработки и использования в технологических процессах огромных массивов информации. Развитие вычислительной техники привело к возможности автоматизации буквально всех областей деятельности человека, в том числе по созданию и эксплуатации машин. Если раньше механизация и автоматизация в машиностроении ставили своей задачей облегчить физический труд людей, освободить их от монотонных ручных операций, то современные кибернетические системы позволяют облегчить и физический, и умственный труд. Вычислительная техника в значительной мере способствует внедрению в производство достижений научно-технического прогресса.

Наряду с развитием и массовым использованием ЭВМ все большее применение получает оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ), которое следует рассматривать как технологический исполнительный орган вычислительной техники. Широким фронтом проводятся работы по созданию новых видов этого оборудования, отличающихся технологическими возможностями, гибкостью (свойством быстрой переналадки), конструктивным исполнением, системами управления. Появилась возможность заменить рабочего у металлорежущего

станка, штампа, пресса, сварочного оборудования, у заводского конвейера неумолимым роботом.

Наивысшая производительность труда в машиностроении достигается в массовом производстве в цехах-автоматах, на конвейерах и автоматических линиях. В последние годы наметилась тенденция комплексной автоматизации также и в условиях серийного и даже мелкосерийного машиностроения на основе гибких производственных систем (ГПС), представляющих собой совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме. Такие быстро переналаживаемые системы позволяют реализовать задачи автоматизации не только самого производства, но и его конструкторскую, технологическую и организационную подготовку.

# НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

## 1.1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОИЗВОДСТВУ

Современное машиностроительное производство представляет собой сложную производственную систему, которая должна обеспечивать бесперебойное функционирование всех подразделений. При изготовлении машин осуществляется ряд технологических процессов, в ходе которых заготовки (сырье) преобразуются в готовые изделия. Изделиями могут быть отдельные детали, сборочные единицы, агрегаты и готовые к выполнению заданных функций машины. Изготовление, например, деталей машин включает производство стали, обработку давлением и резанием, термическую обработку и т. д.

Производственная система осуществляет изготовление заданных изделий в замкнутом производственном цикле, содержащем материальный, информационный и энергетический потоки (рис. 1.1). Производственным циклом называют комплекс технологических процессов, протекающих внутри производственной системы с целью преобразования материального потока с использованием необходимой информации и затратной энергии.

Материальный поток составляют обрабатываемые материалы, комп-

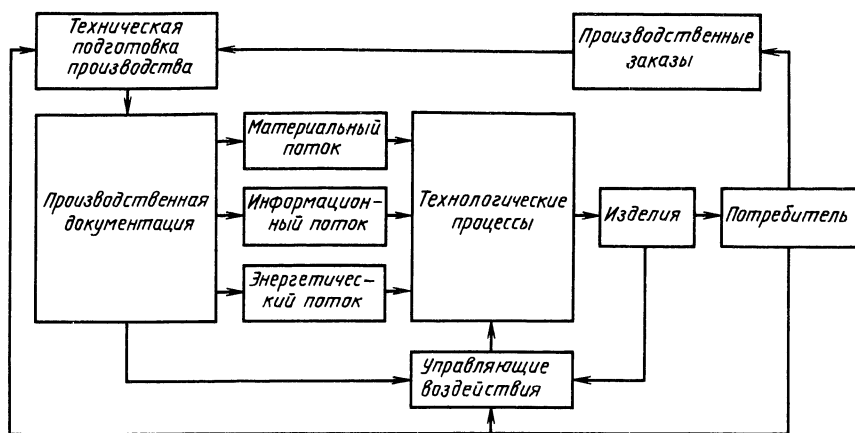


Рис. 1.1. Структура производственного процесса



лекующие изделия, технологическая оснастка (инструменты, приспособления, пресс-формы, измерительные средства) и отходы производства.

Основным носителем информации в производственной системе является производственная документация. Техническое отображение изделия (схемы, чертежи, технологические карты, спецификации, управляющие программы для оборудования с ЧПУ, математические модели и т. д.) последовательно проходит все фазы производственного цикла. Информационный поток содержит техническую информацию (конструкторскую и технологическую), данные о ходе производства и выполнении календарных планов, экономические показатели работы производства и информацию управляющих воздействий на технологические процессы.

Энергия, получаемая из централизованной энергетической системы, затрачивается для осуществления технологических процессов, выполнения транспортных и погрузочно-разгрузочных операций с объектами материального потока, а также для обеспечения информационного потока.

Совершенствование производственных циклов должно удовлетворять следующим основным требованиям, направленным на повышение эффективности производства и его технической подготовки (научной, конструкторской, технологической и организационной).

Повышение производительности труда. Осуществляя производственный цикл, человек ставит перед собой задачу получить изделие нужного качества, затратив на его изготовление как можно меньше труда. Количество затраченного труда измеряется его интенсивностью и продолжительностью. Непрерывное увеличение производительности труда нормальной интенсивности — основной источник наиболее полного удовлетворения потребностей человека и повышения его жизненного уровня.

Применение средств автоматизации на всех этапах производственного цикла создает предпосылки для резкого подъема производительности труда. Степень автоматизации характеризуется отношением числа автоматически управляемых технологических процессов к общему числу процессов производственного цикла.

Автоматизация производства связана с проведением комплекса мероприятий по разработке прогрессивных технологических процессов и созданию высокопроизводительного оборудования, выполняющего рабочие и вспомогательные операции без непосредственного участия человека. При этом наибольший эффект приносит комплексная автоматизация.

Однако процессу автоматизации машиностроительного производства, как и любому процессу развития, свойственны противоречия, незнание которых может привести к нерациональным затратам сил, времени и средств. Например, каждое производство требует определенных средств и видов автоматизации, которые выбирают на основании технико-экономических расчетов с учетом конкретных производственных условий. Известны случаи, когда внедрение новой автоматизированной техники не привело к повышению производительности труда. Кроме того, технические средства сами по себе не способны обеспечить высокую производительность труда, если они не обеспечены соответствующими формами организации производства.

Следовательно, чтобы обеспечивать высокие темпы технического про-

гресса, новую технику необходимо оценивать по уровню производительности труда, который обеспечивает эта техника. Наиболее эффективными являются те пути развития техники, которые гарантируют более высокие темпы роста производительности труда. Поэтому методы автоматизации производства в машиностроении следует рассматривать как методы повышения производительности труда. А это невозможно без всестороннего анализа производственной системы и выявления зависимости производительности труда от конкретных критериев оценки эффективности внедрения новой техники, технологии и организации производства.

Анализируя влияние технико-экономических показателей (критериев) на производительность труда, можно оценить перспективность трех основных путей ее повышения.

Первый путь — уменьшение затрат живого труда за счет сокращения числа рабочих, непосредственно занятых в процессе производства. Это достигается при многостаночном обслуживании, создании АЛ и ГПС.

Второй путь — уменьшение затрат живого и прошлого труда за счет повышения производительности средств производства. Это достигается путем разработки прогрессивных технологических процессов и создания новой высокопроизводительной техники.

Третий путь — сокращение затрат прошлого труда — требует непрерывного совершенствования технологии производства средств производства, стандартизации и унификации механизмов и деталей станков.

Улучшение качества продукции. Без надлежащего качества изделия становятся ненужными. Анализ качества изделий с целью его оценки и улучшения выполняется методами метрологии и технологии машиностроения. Эти методы предусматривают измерение размеров, геометрической формы, качества обрабатываемых поверхностей и последующее обобщение результатов как для отдельных деталей, так и для партии. Соответствующие характеристики качества продукции можно получить с помощью различных диаграмм. Точечные диаграммы показывают размеры деталей одной партии в порядке их обработки. Диаграммы распределения фиксируют размеры всех деталей партии независимо от последовательности их обработки. Корреляционные диаграммы отражают взаимосвязь размеров деталей на разных стадиях производственного цикла.

Большинство технологических процессов в машиностроении — многооперационные, т. е. каждая поверхность деталей подвергается многократным технологическим воздействиям. Так, заготовки колец конических подшипников получают из труб с помощью операций отрезки и калибровки; далее заготовки проходят черновое и чистовое обтачивание, термическую обработку, черновое и чистовое шлифование, а затем полирование.

Основой оптимального (наиболее благоприятного) построения технологических процессов по критерию качества продукции служит исследование завершающей операции, позволяющее оценить влияние на качество готовых деталей двух факторов: характеристик станка на завершающей операции и качества заготовок перед этой операцией. Все предшествующие операции следует оценивать лишь с точки зрения того, как они влияют на выходные параметры завершающей операции.

Улучшение качества продукции связано с оптимальным построением многооперационных технологических процессов в условиях автоматизированного производства, требует применения сложного математического аппарата и обширных экспериментальных исследований. К подобным проблемам относят задачи прогнозирования технологической надежности работы автоматического оборудования, т. е. количественной оценки сроков потери оборудованием первоначальных значений параметров качества обработки.

Снижение себестоимости продукции связано с необходимостью непрерывного повышения рентабельности (прибыльности) производства. На себестоимость продукции влияет любое изменение в производственном цикле, показателях производительности труда, использовании основных фондов, затратах материалов, технологической оснастки и энергии.

Применение более совершенных технологических процессов и автоматизированных средств производства, в том числе вычислительной техники, должно снижать себестоимость производимой продукции при сохранении или повышении ее качественных характеристик. Тем самым компенсируются (возмещаются) дополнительные капиталовложения сверх технологически необходимых.

Использование вычислительной техники и высокоавтоматизированного станочного оборудования (станков-автоматов, станков с ЧПУ, РТК, ГПМ, АЛ и ГПС) дает надлежащий технико-экономический эффект лишь в соответствующих организационных условиях. Отсутствие таких условий приводит к снижению ряда показателей работы предприятия в связи с высокой стоимостью этого оборудования.

Одним из эффективных организационных методов снижения себестоимости продукции является совершенствование внутрипроизводственного хозрасчета, который предполагает самоокупаемость, самофинансирование, самопланирование и самоуправление. Основа хозрасчетной деятельности предприятий — прибыль как важнейший обобщающий экономический показатель, главный источник финансирования производственного и социального развития.

Повышение гибкости производства. В современном машиностроительном производстве возникли и действуют тенденции, требующие сочетания принципов автоматизации и гибкости, потому что мелкосерийное и серийное производство составляет примерно 80 % от объема машиностроения и есть предпосылки для дальнейшего его роста. Потребность в машинах, соответствующих быстро меняющемуся спросу на новую технику, ведет к расширению номенклатуры и соответственно к снижению серийности производимой продукции, т. е. потребность в переналаживаемом оборудовании неуклонно возрастает.

Гибкость производственной системы выражается в ее переналаживаемости и характеризуется широтой номенклатуры продукции, временем переналадки технологического оборудования на изделия другого наименования из освоенной номенклатуры, временем подготовки и освоения производства новых изделий, а также способностью системы продолжать функционировать при отказе одного или нескольких ее компонентов.

Сочетание принципов автоматизации и гибкости позволяет совмещать на современном технологическом оборудовании производительность и качество механообработки специальных станков-автоматов и АЛ с гибкостью универсальных станков с ручным управлением.

Увеличение объема выпуска новой высокоэффективной продукции. Перед машиностроительными предприятиями поставлены задачи по коренной реконструкции, опережающему развитию, увеличению объема выпуска новой высокоэффективной продукции, а также резкому сокращению сроков освоения новой техники и технологии.

Одним из определяющих факторов в достижении этих целей является рациональная организация технической подготовки производства, которая состоит из научного, конструкторского, технологического и организационного этапов.

На этапе **научной подготовки производства** анализируется накопленный опыт, осуществляется прогнозирование, исследование и обобщение научных разработок, использующих прогрессивные технологические процессы и формы организации производства.

Внедрение достижений науки и техники в производство наиболее эффективно, когда **конструкторская подготовка производства** органически связывается с научной, технологической и организационной подготовкой.

Затраты труда, связанные с конструированием машин, составляют значительную часть всех затрат на их создание и доходят до 60 %. Затраты на конструирование принципиально новой техники, когда необходимы предварительные поисковые и опытно-промышленные разработки, еще более значительны. Таким образом, совершенствование процесса конструирования, его автоматизация с помощью средств вычислительной техники, повышение производительности труда конструкторов существенно влияют на весь процесс создания машин и их экономическую эффективность.

При конструировании машин и их механизмов основные усилия конструкторов должны быть направлены на поиски принципиально новых решений и изобретение конструкций, превосходящих существующие по всем основным показателям: по производительности, точности, надежности, гибкости, степени автоматизации, металлоемкости, экономической эффективности. Лишь на этапе конструирования в полной мере можно из различных вариантов выбрать действительно оптимальное решение. От качества конструкторской подготовки производства во многом зависит качество выпускаемых машин.

**Технологическая подготовка производства** обеспечивает технологическую готовность предприятия к выпуску изделий заданного качества в установленные сроки при определенных материальных затратах. Она заключается в разработке технологических процессов и соответствующей им документации, проектировании и изготовлении технологической оснастки, приобретении материалов и комплектующих изделий. Роль технологической подготовки производства особенно возрастает при переходе к непосредственному управлению технологическим оборудованием от ЭВМ.

Широкое применение вычислительной техники на этапе технологической подготовки производства позволяет в значительной мере сократить

сроки перехода предприятия к выпуску новых и усовершенствованных изделий, осуществлять все работы по технологической подготовке производства на более высоком научном и организационном уровне при меньших затратах труда.

Современная теория и практика **организационной подготовки производства** рассматривает всю производственную систему как совокупность составляющих ее подсистем и отдельных элементов, взаимодействие которых строится на определенных связях. Важнейшими преимуществами системного подхода при решении задач организации производства являются наиболее эффективное использование трудовых и машинных ресурсов, уменьшение количества материальных и информационных потоков, расширение возможностей применения современных экономико-математических методов моделирования и средств вычислительной техники.

## **1.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА**

Создание производственных систем всегда начинается с решения технологических проблем, определяющих качественную и количественную стороны технологических процессов. Качественная сторона предусматривает назначение способов и последовательности обработки деталей, выбор или проектирование технологической оснастки (режущего и вспомогательного инструмента, штампов, пресс-форм, зажимных приспособлений), выбор способов и средств контроля. Количественная сторона определяет разделение технологического процесса на отдельные операции, назначение режимов обработки, а также структуру автоматизированных станочных комплексов (РТК, ГПМ, АЛ и ГПС).

Технологической основой автоматизации машиностроительного производства является у н и ф и к а ц и я технологических процессов; унифицировать означает приводить к единообразию — это один из методов стандартизации.

Технологическая унификация позволяет сокращать сроки технологической и организационной подготовки производства, выполнять их на более высоком техническом уровне, применять вычислительную технику. При унификации используют три направления: унификация непосредственно технологических процессов безотносительно к обрабатываемым деталям; унификация технологических процессов, построенная на классификации обрабатываемых деталей, когда за основу берется реальная деталь; унификация на базе сочетания типового технологического процесса с классификацией реальных деталей.

Первое направление целесообразно применять, когда унифицированный технологический процесс разрабатывается как образцовый, обеспечивающий внедрение новой техники и технологии, что особенно важно при проектировании новых и реконструкции действующих предприятий.

Второе направление обеспечивает применение наиболее прогрессивных методов изготовления деталей машин и приборов.

Третье направление — компромиссное — целесообразно применять, когда возникает необходимость ориентироваться не только на реальную

деталь, но и вносить отдельные изменения в типовой технологический процесс и даже менять конструкцию детали.

Унификация технологических процессов строится на базе классификации и типизации изделий (отдельных деталей, узлов, агрегатов, машин) и отдельных элементарных поверхностей деталей. Соответственно разрабатывают маршрутные и операционные унифицированные технологические процессы (рис. 1.2).

Маршрутные процессы разрабатывают для определенного типа деталей на всех технологических операциях; на стандартные и характерные типы деталей конкретного производства; на стандартные узлы и агрегаты; для наиболее сложных и точных деталей, узлов и агрегатов одного назначения, изготавливаемых на разных предприятиях; на отдельные прогрессивные методы обработки; на отдельные машины; на процессы сборки отдельных узлов, агрегатов и машин.

Операционные процессы разрабатывают: при получении заготовок свободной ковкой, горячей и холодной штамповкой, литьем, прессованием; для механической обработки деталей на станках; для сварочных операций; для электрических, химико-механических, ультразвуковых и лазерных методов обработки деталей; для термических, химико-термических, гальванических и отделочных процессов; для операций сборки и контроля.

Технологическая унификация реализуется в виде типовой и групповой технологии.

Наиболее высокий уровень применения типовой технологии (типовых технологических процессов) характерен для крупносерийного и массового производства. Это объясняется тем, что в таких условиях практически каждый технологический процесс должен быть типовым. Типовая технология дает возможность унифицировать варианты техно-

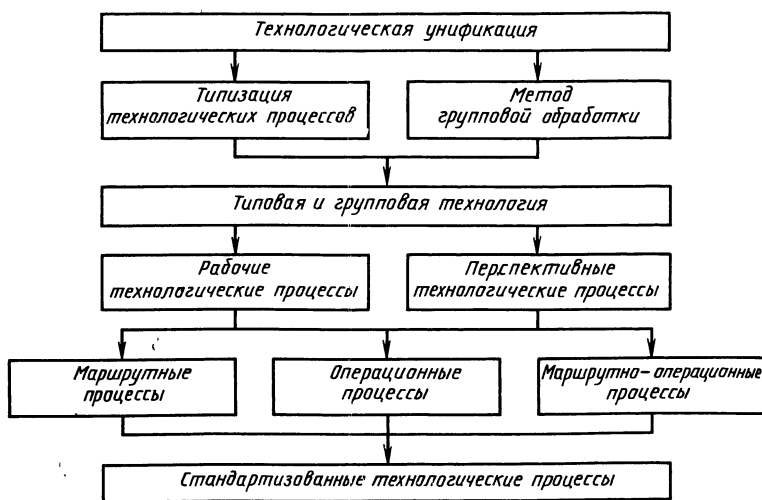


Рис. 1.2. Схема унификации технологических процессов

гических процессов, охватывающих изделия по общности их конструктивного оформления и назначения.

Типизация призвана обеспечить устранение многообразия технологических процессов путем сведения их к ограниченному числу типов. Основная цель типизации — добиться, чтобы обработка одинаковых и сходных деталей осуществлялась общими, наиболее совершенными и эффективными методами с максимально возможной производительностью, при наименьшей себестоимости и в заданном качестве. Типизация является основой для разработки стандартов на технологические процессы и отдельные технологические операции.

При типизации технологических процессов важно предусматривать типизацию технологических операций, повторяющихся при изготовлении деталей родственных типов и сочетаний элементарных поверхностей. Каждая типовая технологическая операция может быть использована как исходная информационная база при разработке маршрутных технологических процессов. Систематизация наиболее распространенных типовых технологических операций обеспечивает внедрение прогрессивных методов проектирования и выполнения этих операций на высокоавтоматизированном оборудовании. Такой подход исключает необоснованный выбор способов и средств выполнения технологических операций при изготовлении близких по конструктивным параметрам деталей.

Типовая технология может быть заводской, отраслевой и общемашиностроительной. Наиболее распространена заводская типовая технология.

Начальный этап при создании типовой технологии — классификация обрабатываемых деталей. С классификацией тесно связано кодирование, которое заключается в присвоении кодового обозначения каждой классификационной группе деталей (например, тела вращения типа колец, втулок, валов, дисков, фланцев, без пазов и шлицев на наружной поверхности, без отверстий вне оси детали, с пазами или шлицами на наружной поверхности, с отверстиями вне оси детали и т. д.).

В машиностроении стандартизована единая система информационного обеспечения (рис. 1.3). В частности, соответствующими стандартами определены классификация и кодирование деталей по конструктивным и технологическим признакам.

Типовая технология и типовая технологическая оснастка разрабатываются для детали, выбранной в качестве образца для каждого типа деталей классификатора (для втулок, дисков, валов, шкивов, зубчатых колес, рычагов, корпусов и т. д.).

Типом называется совокупность сходных деталей, имеющих в конкретных производственных условиях общий технологический процесс обработки.

Следовательно, цель классификации деталей — установление их типов. Целью же разработки типовой технологии является систематизация технологических процессов для изготовления однотипных деталей. В пределах одного типа деталей допускается расхождение в наборе нехарактерных операций за счет их добавления или исключения (например, обработка фасок на деталях типа валов).

Классификация деталей в условиях конкретного завода обычно офор-

мляется в виде альбома или вводится в библиотеку данных ЭВМ. Каждому типу деталей отводится отдельная страница в альбоме или памяти ЭВМ с изображением всех деталей данного типа, типовой детали-представителя, ее кода и кода типовой технологии.

Порядок формирования технологического процесса на новую деталь при использовании типовой технологии сводится к следующему. С помощью библиотеки типовых деталей определяют код типовой технологии. По этому коду находят содержание типового технологического процесса, в котором уточняют набор операций, режимы обработки и задают в тексте описания операции исполнительные размеры.

Таким образом, пользуясь заранее разработанной типовой технологией, можно при малых затратах времени получить технологически грамотный реальный процесс изготовления детали любой сложности.

Более широкие возможности унификации заложены в методе групповой технологии, основу которого составляет объединение (группирование) деталей не только по общности их конструктивного оформления, но и общности технологических операций. Такое объединение позволяет в условиях мелкосерийного и серийного производства применять высокопроизводительные автоматизированные технологические процессы, характерные для крупносерийного и массового производства.

Метод групповой технологии представляет собой способ унификации технологии производства, при котором для групп однородных по конструктивным и технологическим признакам деталей устанавливают однотипные прогрессивные методы обработки с использованием быстропереналаживаемых оборудования и оснастки. Групповая технология является важнейшим звеном в общей цепи подготовки современного машиностроительного производства: конструирование — технология — организация — экономика и создает необходимые предпосылки для организации группового производства.

Групповая технология непосредственно взаимосвязана с унификацией конструкций машин и их элементов, а также с организацией и экономикой производства, так как в значительной мере определяет производственную структуру участков, линий и цехов, систему нормирования, планирования и обслуживания производства. Чем выше уровень унификации технологии на базе группового метода, тем проще организационные формы производ-

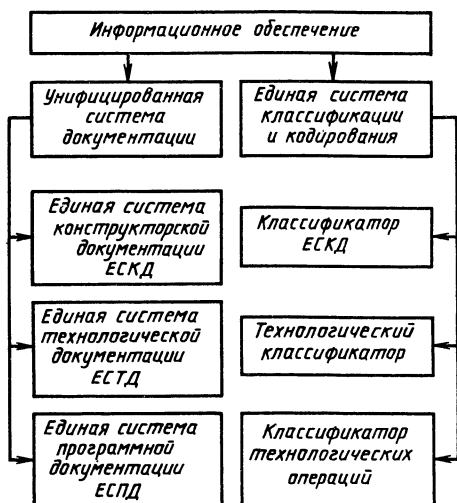


Рис. 1.3. Структура системы информационного обеспечения в машиностроении



ства и тем ближе они к высшей форме организации производства — непрерывному поточному производству изделий.

Внедрение групповой технологии и организация на ее базе группового производства требуют проведения следующей подготовительной работы: классификации и группирования деталей, видов работ, технологических процессов и технологического оборудования; классификации и конструирования групповых зажимных приспособлений, режущих инструментов и другой оснастки; создания групповых участков, линий и цехов.

Групповую совокупность деталей при изготовлении характеризует общность оборудования, оснастки, наладки и операционного технологического процесса. При создании групп обрабатываемых деталей принимают во внимание однородность заготовок и их материал, серийность, требования к точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей, размеры и геометрическую форму деталей, сходство поверхностей, общность планирования и организации производства.

Групповые технологические процессы представляют собой совокупность групповых технологических операций, обеспечивающих изготовление различных деталей группы или нескольких групп по общему технологическому маршруту. Принятая последовательность технологических операций при групповом маршруте должна обеспечивать изготовление любой детали группы, технологическая оснастка должна быть групповой или универсально-переналаживаемой, оборудование должно быть высокоавтоматизированным при минимальных затратах на его переналадку.

Автоматизация технологического оборудования в большой степени зависит от конструкции оснастки, которая должна быть простой и быстро-переналаживаемой. Решает эту задачу создание унифицированной групповой или универсально-переналаживаемой оснастки.

Под унификацией технологической оснастки понимают возможность использования зажимных приспособлений, режущего и вспомогательного инструмента, пресс-форм и штампов для обработки различных деталей путем переналадки или перекомпоновки этой оснастки с заменой и регулировкой ее отдельных конструктивных элементов, узлов и агрегатов. Объектами унификации и стандартизации могут быть как части оснастки, так и отдельные виды оснастки в комплекте.

Организация группового производства способствует не только повышению производительности труда и сокращению непроизводительных затрат времени при изготовлении машин, но и создает предпосылки для проектирования и внедрения новых, более прогрессивных видов специализированного оборудования, станков с ЧПУ и ГПС.

Таким образом, унификация в области технологии машино- и приборостроения сводится к осуществлению либо типовых, либо групповых технологических процессов в соответствии с серийностью производства. Оба эти направления дополняют одно другое. Принципиальное их различие применительно к изготовлению деталей заключается в следующем. Типовые процессы прежде всего характеризуются общностью последовательности и содержания операций при обработке типовых деталей, тогда как для групповых процессов прежде всего характерна общность оборудования и оснастки при выполнении отдельных операций или при полном

изготовлении группы деталей. При групповой технологии происходит искусственное увеличение групповых партий обрабатываемых деталей.

### 1.3. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ПРОИЗВОДСТВА

При современном уровне развития техники основной формой машиностроительного производства становится автоматизированное производство. Любые новые неавтоматизированные технологические процессы и оборудование должны рассматриваться как частное, вынужденное решение, когда в конкретных условиях производства по каким-то причинам отсутствуют технические или экономические предпосылки для его автоматизации.

Автоматизация и технический прогресс — эти два понятия неотделимы друг от друга, так как, по высказыванию В. И. Ленина, «прогресс техники в том и выражается, что человеческий труд все более и более отступает на задний план перед трудом машин». Области наиболее эффективного применения станочного оборудования прежде всего определяются номенклатурой обрабатываемых деталей (рис. 1.4). Исторически первой группой металлорежущего оборудования являются универсальные станки с ручным управлением, которые постоянно совершенствуются и даже оснащаются отдельными средствами автоматизации (малой автоматизацией). Высококвалифицированный рабочий может на таком станке изготовить многие детали современной машины. Широкая универсальность и высокая гибкость (возможность быстрой переналадки на обработку новой детали) являются главными преимуществами станка с ручным управлением. Основные его недостатки — малая производительность и выполнение рабочим всего необходимого цикла управления работой станка.

Обычно технологический процесс изготовления детали на станке позволяет одновременно закреплять заготовку, менять инструмент, устанавливать необходимую частоту вращения шпинделя и величину подачи. Но

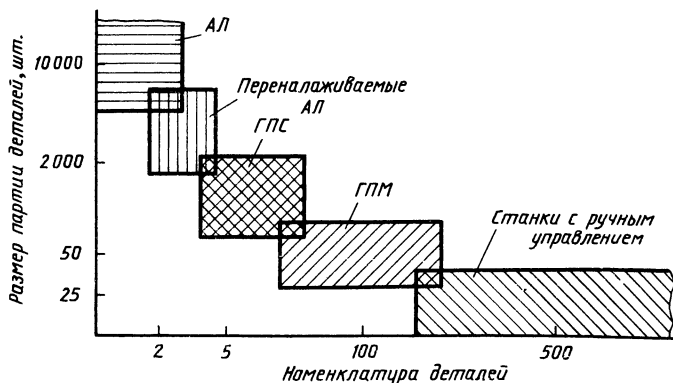


Рис. 1.4. Области наиболее эффективного применения станочного оборудования

практически рабочий все эти вспомогательные операции выполняет последовательно, поэтому время их выполнения на станке с ручным управлением велико. Аналогичное положение имеет место и с рабочими операциями. В большинстве случаев технологический процесс можно выполнять несколькими одновременно работающими инструментами, однако при ручном управлении все рабочие операции выполняются последовательно, так как человек не в состоянии управлять вручную работой нескольких инструментов одновременно.

Увеличение масштабов производства, потребность в изготовлении большого количества одних и тех же машин обусловили появление универсальных станков-автоматов и полуавтоматов. Автомат — это самоуправляющийся станок, автоматически и многократно выполняющий все рабочие и вспомогательные элементы цикла обработки детали, кроме наладки. Полуавтомат — это станок с автоматическим циклом, повторяемым с участием рабочего.

Особенностью станков-автоматов является высокая производительность. Так, например, токарный шестишпиндельный автомат может заменить по производительности до 20 универсальных токарных станков, что достигается совмещением вспомогательных и рабочих операций, высокими скоростями выполнения всех вспомогательных перемещений, большим количеством одновременно работающих инструментов.

Хотя автоматы рассматриваемого вида и называют универсальными, их универсальность значительно меньше, чем станков с ручным управлением. Например, рабочий может устанавливать и закреплять в шпинделе токарного станка одинаково просто как пруток, так и штучные заготовки; в токарном автомате механизмы загрузки и зажима, созданные для пруткового материала, непригодны для штучных заготовок. Этим и объясняется большое разнообразие (и соответственно большое количество типоразмеров) универсальных автоматов.

На станке с ручным управлением рабочий, закончив изготовление очередной детали, может сразу же приступить к изготовлению по другим чертежам совершенно иной детали. На универсальном станке-автомате такая переналадка занимает несколько часов, а подготовка к переналадке (проектирование и изготовление кулачков, копиров, разработка циклограмм и карт наладки) — несколько дней. Поэтому фактическая производительность автоматов в условиях мелкосерийного производства оказывается низкой.

Таким образом, универсальные автоматы и полуавтоматы наиболее эффективны в том производстве, где не требуются частые переналадки оборудования, т. е. в крупносерийном производстве.

Стремление максимально повысить производительность при больших масштабах производства привело к созданию специализированных и специальных автоматов. Специализированными называют станки-автоматы, которые могут быть переналажены на небольшую группу однотипных деталей. Специальные станки-автоматы создаются для обработки одной единственной детали; они весь период эксплуатации выпускают одну и ту же деталь, выполняют одни и те же технологические операции. Высокая специализация такого оборудования приводит к

значительному упрощению его компоновки, конструкции и системы управления.

Кроме того, проектируя станок-автомат для обработки конкретной детали, можно выбрать оптимальный вариант технологического процесса и оптимальные режимы резания, применить наибольшее совмещение операций, упростить наладку, управление и обслуживание, что позволяет обеспечить более высокую производительность и эффективность по сравнению с универсальными автоматами в условиях крупносерийного и массового производства.

Однако развитие специализации станков-автоматов создает противоречие между массовостью и гибкостью производства. Специализированное оборудование может применяться только при изготовлении таких деталей, конфигурация и размеры которых длительное время остаются неизменными. Между тем на проектирование, изготовление и отладку новых оригинальных конструкций автоматов обычно тратится более года. Уже в течение этого времени, или вскоре после освоения конкретной модели автомата обрабатываемая деталь может быть заменена. В современном крупносерийном и массовом производстве смена или частичное изменение объектов производства обычно осуществляется через каждые пять-шесть лет и даже чаще. При смене объекта производства большинство специализированного оборудования оказывается ненужным, несмотря на полную работоспособность.

Это требует создания станков-автоматов иного типа, в которых сочетаются высокая производительность специальных автоматов с широкими технологическими возможностями и с определенной гибкостью; в то же время процесс проектирования, изготовления и освоения таких станков должен быть существенно сокращен.

Одним из методов решения поставленной задачи является унификация узлов (агрегатов), механизмов, деталей и систем управления станков-автоматов, что и привело к созданию агрегатных станков. Станкостроительные предприятия — поставщики агрегатных станков — обладают высокой мобильностью, так как могут комбинированием унифицированными элементами быстро создавать высокопроизводительные специализированные станки-автоматы различного технологического назначения. Оригинальными в таких станках остаются только те узлы, конструкция которых связана с индивидуальными особенностями обрабатываемых деталей (шпильчатые коробки, зажимные приспособления); но и эти узлы собирают из унифицированных деталей.

Автоматические линии из агрегатных, специальных и универсальных станков-автоматов обеспечивают дополнительное (в несколько раз) повышение производительности труда за счет автоматизации межстаночных транспортных операций, загрузки заготовок и выгрузки готовых деталей. Для обработки наиболее сложных и трудоемких деталей применяют комплексы АЛ, в которые кроме металлорежущего оборудования встраивают контрольные автоматы, моечные машины, устройства проверки герметичности, агрегаты для термической обработки, роботы, накопители, автоматы для маркировки и другое вспомогательное оборудование. В составе АЛ могут быть также сборочные автоматы.

Для АЛ характерно расположение всего оборудования в порядке последовательности операций технологического процесса, выполняемых без вмешательства человека (необходимы лишь периодический контроль, наладка, профилактическое обслуживание и устранение неполадок).

Внедрение в крупносерийное и массовое производство АЛ приводит к сокращению в 1,5—2 раза количества станков-автоматов и производственных площадей, в 5—10 раз и более уменьшает число рабочих и способствует снижению себестоимости продукции, сокращению длительности производственного цикла, уменьшению незавершенного производства. Вместе с тем становится более стабильным качество деталей, повышается общая культура производства.

АЛ присущи, однако, и недостатки. Прежде всего это — высокая трудоемкость, а иногда и невозможность переналадки линии на другую деталь (даже аналогичную) и тем более на другой технологический процесс. Имеют место также простои работоспособных станков, агрегатов и механизмов из-за неполадок в другом оборудовании, входящем в состав одной линии. Для обеспечения стабильности процесса обработки повышаются требования к качеству заготовок.

Длительное время основным направлением автоматизации машиностроения было решение задач, связанных с крупносерийным и массовым производством, где создано и внедрено множество станков-автоматов, отдельных автоматических линий и их комплексов. Для серийного и тем более мелкосерийного производства такие средства автоматизации малоэффективны. Если они выполнены для узкой номенклатуры деталей, то простаивают и не окупаются в приемлемый срок. Если же номенклатура обрабатываемых деталей берется достаточно широкой, то частые переналадки требуют слишком много вспомогательного времени.

Были попытки применить в серийном производстве автоматизированное оборудование, создаваемое на базе универсальных станков и предназначенное для групповой технологии. Внедрено множество токарно-револьверных, гидрокопировальных, сверлильных и других полуавтоматов, а также множество групповых поточных линий. Однако при освоении новых изделий из-за необходимости проектирования и изготовления огромного количества специализированных станков и сложной оснастки (в том числе фасонного режущего инструмента) подготовка автоматизированного процесса занимала столь долгий период, что к моменту выпуска изделие морально устаревало.

Таким образом, до недавнего времени проблема автоматизации мелкосерийного и серийного машиностроения, составляющего около 80 % общего объема машиностроительного производства, не была решена. Важнейшим условием ее решения является наличие оборудования и оснастки, при которых затраты времени на переналадку были бы настолько малы, чтобы при обработке малых партий деталей обеспечивалось снижение трудоемкости и себестоимости изготовления деталей. Для мелкосерийного и серийного машиностроения необходимы принципиально новые средства автоматизации, сочетающие в себе производительность и точность станков-автоматов с гибкостью универсального оборудования.

Основным методом решения указанной проблемы становится групповая технология, а основным оборудованием — станки и станочные комплексы с числовым программным управлением (ЧПУ).

Появление оборудования с ЧПУ, сочетающего широкие технологические возможности, высокую производительность и гибкость, стало переломным моментом в автоматизации серийного и мелкосерийного машиностроения, степень автоматизации которого традиционно отставала. Создание оборудования с ЧПУ можно считать одним из наиболее существенных достижений научно-технической революции в области станкостроения.

В настоящее время с числовым управлением выпускают металлорежущие станки, прессы, сварочное и газорезательное оборудование, станки для электрофизической, электрохимической и лазерной обработки, промышленные роботы, переналаживаемые автоматические линии и другое оборудование.

Предпосылки для создания высокоавтоматизированного гибкого оборудования с ЧПУ появились благодаря интенсивному развитию вычислительной техники, информатики (науки о структуре и свойствах информации), электроники и электроавтоматики. Станком, роботом, измерительной машиной, транспортными устройствами и другим оборудованием современного машиностроительного производства научились управлять с помощью чисел и знаков.

Обычный станок-автомат работает по программе, задаваемой распределительными валами, кулачками, копиями. Принципиальное отличие станка с ЧПУ от такого автомата заключается в задании программы обработки детали в числовой (математической) форме. Символьные данные управляющей программы непосредственно, т. е. без промежуточного участия человека в качестве преобразователя информации, принимаются и обрабатываются автоматическими устройствами управления.

Хотя числовое управление металлорежущими станками возникло около 40 лет назад, оно имеет свои этапы развития, во многом связанные с этапами развития вычислительной техники. Существенно изменились также компоновка и конструкция станков.

Первоначально (50-е годы) с числовым управлением были созданы станки традиционных технологических групп (фрезерные, токарные, расточные и т. д.), причем для оснащения устройствами числового управления использовались обычные универсальные станки. Это был этап опробования принципов числового управления, выявивший принципиально новые возможности повышения производительности станков за счет снижения вспомогательного времени, а также уменьшения количества оснастки (шаблонов, копиров, кулачков, специальных зажимных приспособлений, фасонного режущего инструмента). Сразу же на смену универсальным станкам с ЧПУ пришли станки новых моделей, специально сконструированные для работы с устройствами ЧПУ.

Второй этап развития станков с ЧПУ (примерно 60-е годы) характеризуется изменением компоновки станков, появлением устройств автоматической смены инструмента, повышением жесткости основных узлов и точности перемещений рабочих органов в широком диапазоне скоростей.

Существенно проще стали кинематические схемы станков. Началось широкое внедрение станков с ЧПУ в промышленность.

Для третьего этапа развития станков с ЧПУ, начавшегося примерно с 1968—1970 гг., характерно резкое расширение их функциональных возможностей, повышение уровня автоматизации и все более широкое применение в системах управления мощных вычислительных средств (микроЭВМ и микропроцессорной техники). Появилась новая разновидность металлорежущего оборудования — многоцелевые станки. Такие станки называют также многооперационными, обрабатывающими центрами, машинными центрами.

В многоцелевых станках выражен новый подход к построению технологического процесса. Они обеспечивают различными видами инструмента комплексную обработку деталей без переустановок или при минимальном их числе.

До появления многоцелевых станков металлорежущие станки создавали применительно к одному из традиционных методов обработки: токарная группа станков — для токарной обработки, фрезерная — для фрезерной и т. д. Этот принцип сохранялся во всех ранее выпускавшихся станках универсального и специального видов, станках-автоматах, станках с ЧПУ, а также в автоматических линиях. Поэтому технологические процессы строили так, что определенные технологические операции (например, расточные) выполняли на станках соответствующей технологической группы (на расточных станках).

Маршрутные технологические процессы обработки деталей средней сложности часто содержат десятки операций, а для сложных корпусных деталей — сотни. Чтобы перейти от одной технологической операции к другой, приходилось каждый раз освобождать деталь, снимать ее со станка и транспортировать на следующий станок, где вновь производить установку (базирование), настройку на исходные размеры и крепление. Каждая переустановка обрабатываемой детали непременно вносила свои погрешности в ее окончательные размеры. Кроме того, детали совершали сложные перемещения по предприятию, долго пролеживали у станков различных технологических групп в ожидании обработки.

Таким образом, вместо общепринятого прежде подбора деталей и отдельных операций к существующим станкам в настоящее время производится проектирование станков (многоцелевых), наиболее полно удовлетворяющих технологическим требованиям групп деталей, подлежащих обработке. Большой набор выполняемых на одном станке разнородных операций (расточных, фрезерных, токарных, сверлильных, шлифовальных и т. д.) изменяет представление о традиционных технологических группах станков.

Применение многоцелевых станков оказывает заметное влияние на характер труда обслуживающего персонала. Высокий уровень автоматизации этих станков уменьшает потребность в труде высококвалифицированных операторов, облегчает их труд и существенно сокращает подъемно-транспортные работы. Однако одновременно возрастают требования к технологической подготовке производства и составлению управляющих программ, выполняемых с помощью ЭВМ.

Большие перспективы дальнейшего повышения производительности труда и эффективности в серийном и мелкосерийном производстве машин имеет создание гибких производственных модулей и на их базе гибких производственных систем, управляемых от ЭВМ.

#### 1.4. КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время существуют технические возможности автоматизации всех элементов производственного цикла.

Комплексная автоматизация охватывает весь комплекс производства изделия, когда автоматизированы все стадии его изготовления. Под комплексной автоматизацией понимают обычно автоматизацию многооперационных технологических процессов.

Автоматизацию многих элементов производственного цикла часто неверно трактуют лишь как процессы внедрения новых систем управления (в том числе на основе ЭВМ) и замещения функций человека средствами автоматики. При этом считают, что оборудование и технология могут оставаться прежними. Однако содержание производства составляют именно оборудование и технологические процессы, так как в них закладываются все потенциальные возможности качества и объема выпускаемой продукции, эффективности производства. Системы же управления определяют только форму реализации этих возможностей.

Важнейшими компонентами научных основ комплексной автоматизации производства являются: правильное понимание ее содержания; комплексное представление о реальных источниках технического, социального и экономического эффекта, их относительной значимости; умение оценивать перспективность технических и организационных новшеств, их наиболее эффективную область применения.

Таким образом, комплексная автоматизация — это конструкторско-технологическая проблема создания и внедрения новых высокоинтенсивных технологических процессов, высокопроизводительного технологического (основного) и вспомогательного оборудования и единых комплексных систем автоматического управления. Значимость современных систем автоматического управления не только в замещении действий человека при управлении оборудованием, но и в реальной необходимости и возможности создания прогрессивных средств производства, которые неосуществимы при непосредственном участии человека в процессах управления.

Понимание комплексной автоматизации производства как конструкторско-технологической проблемы с приоритетом автоматически действующих средств производства и технологии определяет основные направления и задачи научных основ автоматизации.

Основы науки о машинах, сформировавшиеся в длительный период безраздельного господства неавтоматизированного производства, были направлены на решение частных задач разработки локальных технологических операций и процессов, конструирования отдельных машин и механизмов по критериям кинематики, прочности, динамики и экономическим критериям. Создание автоматических линий комплексной обработки, автоматических цехов и автоматизированных производств как сложных



взаимосвязанных систем основного и вспомогательного оборудования, выполняющего многооперационные технологические процессы, требует системного подхода.

При системном подходе машиностроительное производство рассматривается как управляемая (кибернетическая) система, состоящая из совокупности предметов, орудий, видов труда и конечной продукции. Сформировалось новое научное направление — системотехника, охватывающее проектирование, создание, испытание и эксплуатацию сложных систем.

Принципы системного подхода ориентируют на раскрытие целостности объектов комплексной автоматизации, выявление внутренних связей между отдельными элементами объектов и внешних связей с другими системами, а также фиксирование этих многообразных связей в виде абстрактной модели. Модель системы строят с помощью математического аппарата, описывающего ее свойства и связи. Поведение реальной системы должно отражать поведение модели.

Необходимо такое поведение производственной системы, вследствие которого достигается ожидаемый результат. На поведение системы оказывает целенаправленное влияние информация, поступающая в систему из окружающей среды и имеющаяся внутри системы. Без воздействия информации объекты автоматизации, их свойства и связи стремятся принять наиболее вероятное состояние — состояние дезорганизации. Критерием такого состояния, противоположного организации, является энтропия.

Целенаправленное воздействие информации на поведение системы составляет сущность управления. Закон роста энтропии гласит, что система, не получающая информацию (неуправляемая), стремится занять состояние наивысшей энтропии.

Степень интеграции (объединения) автоматического управления характеризует степень связи и согласования отдельных элементов производственного цикла. Самая низкая степень интеграции определяет систему, состоящую из самостоятельно управляемых подсистем; промежуточная означает различные степени связи подсистем между собой и частичное объединение автоматических средств управления; высшая степень интеграции предполагает автоматическое управление системой из одного центра.

Системный подход к совершенствованию машиностроительного предприятия в целом заключается в устранении традиционного разделения сфер производства и его подготовки. Интегрированная автоматизация подразумевает объединение в единую систему всех этапов проектирования и изготовления изделий, в то время как комплексная автоматизация охватывает только сферу производства.

Структура производственного цикла в условиях интегрированной автоматизации приведена на рис. 1.5. Полный цикл производства состоит из этапов и соответствующих им автоматизированных подсистем исследования, проектирования, технической и технологической подготовки производства, изготовления, контроля и складирования, объединенных в единую систему с помощью сети ЭВМ.

Подсистема исследования выполняет функции моделирования как объектов производства, так и компонентов производственной системы, органически встраивая процессы моделирования в общий производственный цикл.

Подсистема проектирования производит уточнение характеристик изделий по моделям, осуществляет структурный и конструктивный анализ и синтез изделий на уровне эскизного, технического и рабочего проектов, разрабатывает для оборудования с ЧПУ управляющие программы изготовления макетных образцов изделий, формирует и изготавливает конструкторскую документацию.

Подсистема технической и технологической подготовки производства осуществляет выбор или разработку технологических процессов, необходимого технологического оборудования с оснасткой, выпускает чертежи, технологическую документацию и управляющие программы для оборудования с ЧПУ, генерирует исходные данные для контроля, диагностирования и измерений в ходе производства.

Подсистема изготовления реализует технологические процессы, обеспечивая управление оборудованием в соответствии с ранее разработанными технологическими процессами.

Подсистема планирования необходима для разработки и оптимизации режимов производственной деятельности, оперативного планирования и учета хода производства.

Элементы интегрированной автоматизации воплощаются на современных предприятиях созданием: систем автоматизированного проектирования (САПР) изделий и технологий, автоматизированных систем технологической подготовки производства (АС ТПП), автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и автоматизированных систем управления предприятием (АСУП). Каждая из указанных систем является человеко-машинной, в которой наиболее трудоемкие функции реализуются средствами вычислительной техники, а творческие функции — конструкторами, технологами и организаторами производства, работающими на автоматизированных рабочих местах (АРМ).

Системы автоматизированного проектирования и управления начали развиваться обособленно, совершенствуя единый механизм производства и его подготовки, который определяется стандартами как система разработки и постановки продукции на производство (РПП). Однако эффективность обособленных мероприятий по интегрированной автоматизации часто оказывается значительно ниже прогнозируемых значений, в то время как эффективность интегрированных систем поднимается на новый уровень как за счет общей (а не частичной) оптимизации, так и за счет общности информационной и технической базы.

Общую цель интегрированной автоматизации и системы РПП можно определить как освоение в кратчайшие сроки новой продукции до необходимого уровня производства при соблюдении заданных параметров качества и ограничений по экономическим показателям, мощности проектных и производственных подразделений. Эта цель, обусловленная необходимостью обеспечения темпов технического прогресса, по-своему актуальна при любой серийности производства. Решение вопросов интегрированной

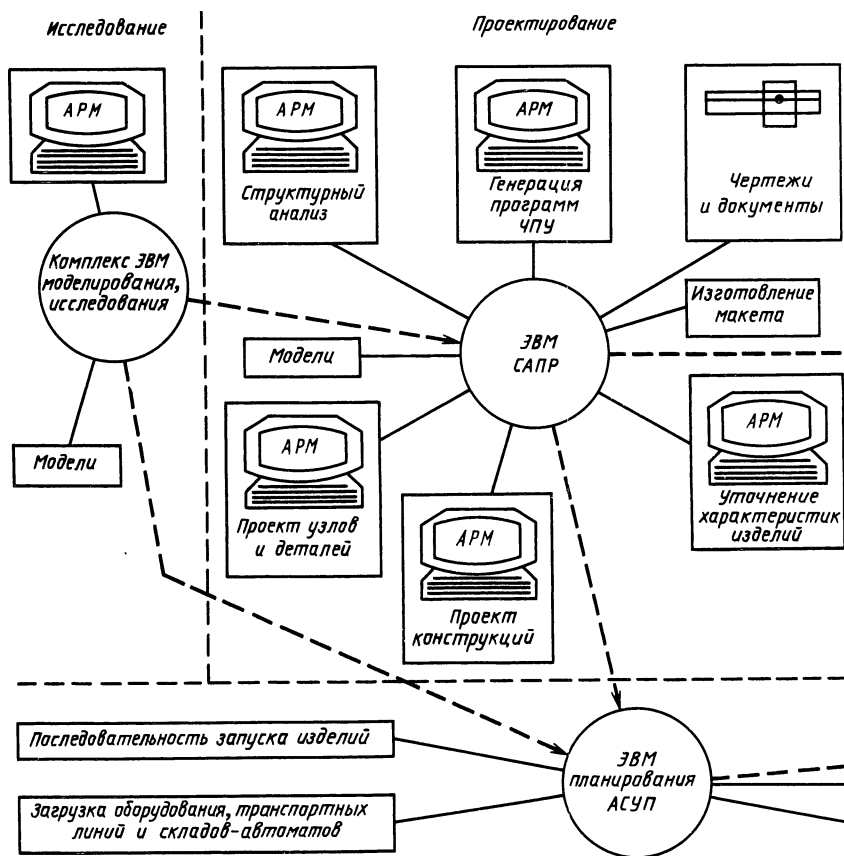
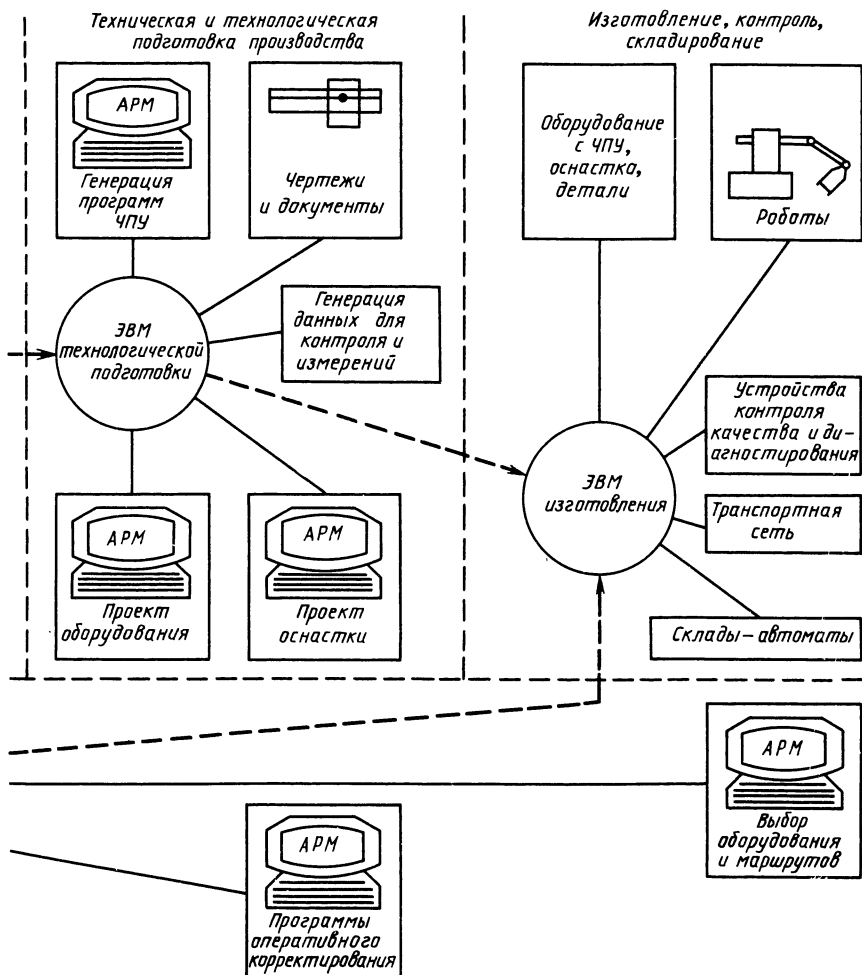


Рис. 1.5. Схема интегрированной автоматизации производства

автоматизации предприятий во многом зависит от уровня развития науки, техники и технологии.

Внедрение автоматизации в первую очередь в массовое и крупносерийное производство объяснялось прежде всего тем, что затраты на создание специального и специализированного дорогостоящего оборудования оправдывались только при изготовлении больших партий машин и приборов.

При интенсивном развитии техники и совершенствовании технологии доля массового и крупносерийного производств непрерывно снижается вследствие необходимости частой замены изделий усовершенствованными моделями. Поэтому при автоматизации этих производств необходимо обеспечивать возможность быстрой их переналадки для перехода на



изготовление нового вида продукции. Особенно актуальна и сложна рассматриваемая проблема применительно к многономенклатурному производству.

## Вопросы для самопроверки

1. Объясните, в связи с чем автоматизация машиностроения является основным средством технического прогресса?
2. Почему повышение производительности труда следует считать критерием оценки эффективности внедрения новой техники, технологии и организации производства?

3. Чем характеризуется гибкость производственной системы?
4. Что понимают под качественной и количественной стороной технологических процессов в машиностроении?
5. Приведите примеры производственных циклов.
6. Какое отличие между типовой и групповой технологией?
7. Перечислите основные причины быстрого развития оборудования с ЧПУ.
8. Какими технологическими особенностями обладают многоцелевые станки с ЧПУ?
9. В чем состоит комплексная автоматизация машиностроительного производства?
10. Чем интегрированная автоматизация отличается от комплексной автоматизации производства?

### 2.1. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время стали реальной действительностью вычислительные комплексы, способные автоматически выполнять сложнейшие производственные функции, которые по объему и скорости требуемых вычислений не под силу не только отдельному человеку, но даже целым коллективам.

Наука о вычислениях — одна из самых древних наук. Потребность в вычислениях всегда была неразрывно связана с практической деятельностью человека. Наряду с непрерывным ростом потребностей в вычислениях, ростом объемов перерабатываемой информации, развитием информатики возникла и развивалась вычислительная техника — совокупность технических средств и математического обеспечения, предназначенных для снижения трудоемкости, ускорения и автоматизации вычислительных процессов, а также для автоматизации самых различных видов умственного труда.

Технические (аппаратные) средства составляют ЭВМ, запоминающие устройства, обширный набор устройств обмена информацией между человеком и ЭВМ, каналы связи. Математическое обеспечение (программные средства) состоит из универсальных и прикладных программ. В универсальном математическом обеспечении обычно различают две большие части: систему подготовки программ и систему исполнения программ. Каждый пользователь создает и включает в эксплуатируемую им систему математического обеспечения прикладные программы решения своих конкретных задач.

Типовая структура технических средств ЭВМ представлена на рис. 2.1. Центральная ее часть (ядро ЭВМ) состоит из процессора, оперативной памяти и канала ввода-вывода информации.

В процессоре сосредоточены средства выполнения арифметических и логических операций, управления выполнением заданной последовательности команд, обращения к оперативной памяти и организации обмена информацией между оперативной памятью и внешними (периферийными) устройствами. Координация работы устройств ЭВМ осуществляется с помощью синхронизирующих и управляющих сигналов, вырабатываемых в процессоре. Синхронизирующие сигналы обеспечивают совмещение срабатывания элементов ЭВМ во времени, а управляющие сигналы задают необходимую последовательность срабатывания этих элементов.

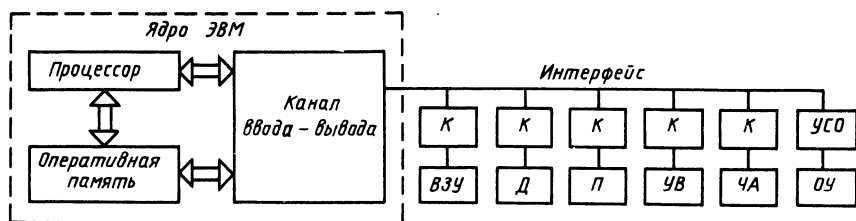


Рис. 2.1. Типовая структура технических средств ЭВМ:

*К* — контроллеры; *ВЗУ* — внешние запоминающие устройства, *Д* — дисплеи, *П* — печатающие устройства; *УВ* — устройства ввода-вывода информации с перфокартами и перфолентами; *ЧА* — чертежные автоматы, *УСО* — устройства сопряжения с объектами управления и с другими ЭВМ, *ОУ* — объекты управления

Цикл работы процессора состоит из следующих шагов: сначала извлекается команда программы из оперативной памяти, затем схема управления ее декодирует, после чего выполняется команда. Для каждой команды, хранимой в памяти, процессор выполняет один такой цикл.

Автоматическое управление решением задачи достигается на основе принципа программного управления, являющегося важнейшей особенностью ЭВМ. Алгоритм решения задачи численным методом состоит в выполнении некоторой последовательности арифметических и логических операций над исходными данными и промежуточными результатами. Поэтому алгоритм можно задать указанием, какие следует произвести операции, в каком порядке и над какими машинными словами. Если при этом в качестве операций используются лишь те простейшие действия (команды), выполнение которых обеспечено конструкцией машины, то описание алгоритма является программой решения задачи.

Оперативная память служит для приема, хранения и выдачи команд и данных, участвующих в очередных операциях. Она содержит некоторое число ячеек, каждая из которых служит для хранения машинного слова (кода определенной длины). Номер ячейки памяти называется ее адресом. При считывании слова из ячейки ее содержимое не меняется и при необходимости слово может быть многократно взято из той же ячейки. При записи хранившееся в ячейке слово стирается и его место занимает новое слово.

Ввод информации в оперативную память и вывод из нее обеспечивается каналом ввода-вывода. При этом возникает проблема организации взаимодействия быстродействующего процессора с большим количеством сравнительно медленнодействующих внешних устройств. Если при каждом обращении к внешнему устройству процессор будет ожидать окончания обмена информацией и только после этого переходить к выполнению следующей команды, то производительность ЭВМ будет очень низкой.

Для эффективности использования ЭВМ необходима параллельная работа процессора и внешних устройств. Такой режим организуется при помощи мультиплексного и селекторного каналов ввода-вывода информации и системы прерывания. Внешние устройства связываются с каналами через собственные устройства управления.

Мультиплексный канал может одновременно обслуживать несколько медленнодействующих внешних устройств и работает по методу уплотнения передач информации путем разделения во времени действий по обслуживанию устройств ввода-вывода. Мультиплексный канал разделяется на подканалы, число которых определяется числом подключаемых внешних устройств.

В селекторном канале исключена возможность одновременной работы нескольких внешних устройств. Он связывает процессор и оперативную память с внешними устройствами, работающими с высокой скоростью передачи информации (например, магнитные диски), в режиме предпочтения или монопольным режиме. Все средства канала монополизируются в течение некоторого времени одним внешним устройством.

Система прерывания обеспечивает временное прекращение выполнения текущей программы при возникновении определенных событий и передает управление программе, специально предусмотренной для данного события. После исполнения прерывающей программы осуществляется выход из нее. Если за это время в ЭВМ не появились запросы прерывания, соответствующие заявкам на выполнение иных более важных работ, то выход из прерывающей программы заключается в восстановлении состояния прерванной программы.

В ЭВМ может иметь место множество различных источников прерывания, вырабатывающих свои запросы независимо друг от друга. Несколько запросов могут возникать одновременно либо они могут появляться во время выполнения прерывающей программы, вызванной предыдущим запросом. Следовательно, должен быть установлен определенный порядок, в котором эти запросы удовлетворяются. Системы прерывания, в которых имеются аппаратные или программные средства для обслуживания запросов прерывания в порядке присвоенного им приоритета, называют приоритетными.

Через интерфейс ввода-вывода к ядру ЭВМ подключаются внешние запоминающие устройства, терминалы для взаимодействия человека с ЭВМ, устройства сопряжения с объектами управления и другими ЭВМ. Интерфейс — это стандарт на способ сопряжения ЭВМ с внешними устройствами. Стандартный интерфейс обуславливает единообразие принципов обмена информацией, форматов информации, последовательности управляющих сигналов, их параметров, а также унификацию схем и конструкций электрических связей. Устройства, подключаемые к каналу посредством интерфейса ввода-вывода, обычно называют абонентами.

Внешние устройства сопрягаются с интерфейсом ввода-вывода ЭВМ через контроллеры (К), которые преобразуют стандартные последовательности сигналов интерфейса в специфические сигналы, необходимые для работы подключаемых устройств. Контроллеры чаще всего встраиваются в дисплеи, накопители на магнитных дисках, печатающие устройства, графопостроители, преобразователи цифровых данных в электрические сигналы, преобразователи электрических сигналов в цифровой код и т. д. В этом случае внешние устройства имеют средства подключения к интерфейсу ввода-вывода определенного типа.

Контроллеры можно также встраивать в ЭВМ. Тогда их выполняют



в виде конструктивных модулей, в результате чего обеспечивается возможность переменной комплектации ЭВМ (набор различных типов контроллеров соответствует набору внешних устройств).

Бурное развитие вычислительной техники определило широкий спектр производимых в настоящее время ЭВМ. Принято различать вычислительные машины как по заложенным в них аппаратным и программным возможностям, так и по области применения.

По аппаратным и программным возможностям различают микропроцессоры и микропроцессорные наборы, микроЭВМ, малые, средние и большие ЭВМ, имеющие широкое применение в машиностроении.

Прошло немногим более 40 лет с момента появления первой ЭВМ. Однако за этот короткий период времени сменилось уже несколько поколений вычислительных машин, значительно отличающихся технологической и элементной базой, архитектурой, операционными системами, функциональными возможностями, быстродействием, надежностью в работе, языками программирования и программным обеспечением. Большую роль в развитии средств вычислительной техники сыграло появление больших и сверхбольших интегральных микросхем, которые открыли невиданные ранее возможности в разработке и создании микропроцессорных систем, компактной и быстродействующей электронной памяти, принципиально новых элементов вычислительных систем. Успехи микроэлектроники позволили обеспечить массовое производство сложных интегральных микросхем, содержащих до  $10^5$ — $10^6$  электронных элементов на одном кристалле.

Микропроцессоры — программируемые большие и сверхбольшие интегральные микросхемы — открыли новые и разнообразные возможности управляюще-вычислительных устройств, существенно расширили сферу применения вычислительной техники. В частности, появилась возможность создавать системы управления станками, роботами и другим технологическим оборудованием с встроенными в это оборудование ЭВМ. Появилась возможность создавать персональные ЭВМ и автоматизированные рабочие места (АРМ) конструктора и технолога. Появилась возможность создания ГПС, объединяющих на уровне интегрированной автоматизации задачи управления производством и его конструкторско-технологической подготовки.

Внедрение вычислительной техники, математических методов моделирования и оптимизации практически во все области решения инженерных задач в машиностроении становится важнейшим фактором технического прогресса: уменьшаются затраты времени и труда на выполнение проектных и исследовательских работ, изготовление и испытание новых машин и приборов, повышается качество конструкций за счет более полного учета параметров, влияющих на основные показатели и характеристики изделий и машин. Вычислительная техника позволяет ставить и решать конструкторские, технологические, исследовательские и производственные задачи во всей их полноте, отказавшись от многих вынужденных ранее допущений и упрощений.

Система команд, быстродействие, разрядность, емкость и разновидности памяти, наличие системы приоритетного прерывания, возможность

работы в реальном времени, стоимость ЭВМ — эти важнейшие характеристики предопределяют область задач в машиностроении, эффективно решаемых с помощью конкретных типов ЭВМ. По области применения различают: вычислительные комплексы универсального (общего) назначения, управляюще-вычислительные комплексы, автоматизированные рабочие места, персональные и специализированные ЭВМ.

## 2.2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭВМ

Свойства ЭВМ определяются следующими основными характеристиками.

Система команд предписывает определенные действия ЭВМ (из числа предусмотренных ее конструкцией) при вводе, обработке и выводе информации. Программа для ЭВМ представляет собой совокупность (набор) команд, задаваемых в нужной последовательности. Перед решением задачи на ЭВМ программа и исходные данные должны быть размещены в ее памяти.

Каждая команда — это двоичное слово, длина которого равна одному, двум или трем словам данных. Так, длина слова команды 8-разрядного микропроцессора обычно равна 8 бит, но может равняться 16 или 24 бит. Команда сообщает процессору, что делать (выполнять сложение, вычитание, умножение, логическую операцию, пересылку данных и т. д.) и указывает адрес, т. е. местоположение обрабатываемых данных.

Набор команд характеризует производительность ЭВМ, гибкость применения, сложность программирования, емкость памяти, предназначенной для хранения программы решения поставленной задачи, и стоимость. Однако оценка ЭВМ только по числу команд может привести к ошибочным выводам, поскольку эффективность отдельных команд весьма различна. Объективным методом оценки эффективности набора команд ЭВМ для конкретного применения является сравнение требующегося времени вычислений и требующейся емкости памяти при работе с контрольной программой на разных ЭВМ.

Функционально полный набор команд ЭВМ оказывается тем компактнее, чем из менее специализированных операций он составлен. Поэтому в современных микро- и мини-ЭВМ обеспечивается возможность программирования двумя способами: на языке команд и языке микроопераций. Программирование на языке микроопераций (микропрограммирование) — более трудоемко, однако существенно увеличивает быстродействие ЭВМ и позволяет создавать специальные коды операций путем расширения или изменения стандартного набора команд с целью оптимального решения определенной задачи или определенного класса задач.

Микропрограммный принцип управления процессором заключается в том, что каждой команде ЭВМ соответствует микропрограмма (набор элементарных микроопераций). В такой ЭВМ логика управления реализуется не электронной схемой, а в виде закодированной информации, содержащейся в специальной быстродействующей управляющей памяти (в микропрограммной памяти).

Первоначально микропрограммирование базировалось на управляю-

шей памяти, которая не допускала оперативной перезаписи информации, и применялось в основном для повышения быстродействия ЭВМ. Появление управляющей памяти с возможностью оперативной перезаписи информации сделало технически реальным предоставление ее пользователю с целью более тонкого приспособления ЭВМ к конкретному применению. Дальнейшее развитие микропрограммной техники связано с предоставлением пользователю возможности засылки в управляющую память своих микропрограмм и обращения к ним.

Под вычислительной мощностью процессора понимают его способность обрабатывать данные, оцениваемую длиной слова данных, количеством адресуемых слов памяти и скоростью выполнения команд.

Длина слова (разрядность) процессора влияет на сложность программирования, выбор способов адресации памяти и использование многобайтных команд. Как правило, более длинное слово приводит к более простому программированию и большей производительности вычислений за счет усложнения аппаратных средств (процессора, устройств памяти, схем управления).

Каждый процессор оперирует данными, представляемыми словами фиксированной длины, что существенно упрощает его построение. В настоящее время типичными являются слова длиной 4, 8, 12, 16 и 32 бит (разрядов двоичных чисел).

Специальное название — байт — получило широко используемое 8-битовое слово. Часто байт (килобайт, мегабайт) используется для оценки объема информации. Например, говорят, что программа ЭВМ имеет объем 1000 байт (1 Кбайт). Благодаря распространенности байта даже 16-разрядные процессоры имеют команды, которые обрабатывают 16-битовые слова, составленные из двух байтов (младшего и старшего).

В общем случае понятие «байт» предпочитают понятию «слово данных», так как размер слова меняется в зависимости от типа процессоров. При одном и том же числе байтов программы 8-разрядный процессор содержит в 2 раза меньше слов, чем 4-разрядный.

Определяющими требованиями при выборе длины слова являются: точность вычислений, число разрядов кода операций, точность представления аналоговых данных, сложность программирования различных задач.

Емкость оперативной памяти характеризуется наибольшим количеством информации, хранимой в ней. Этот параметр связан с диапазоном адресации (количеством адресуемых слов памяти) и емкостью запоминающих устройств.

Длина слова данных в памяти — это, по существу, тот же параметр, что и длина слова данных, которыми оперирует процессор. Каждому слову в памяти присваивается адрес, т. е. номер его местоположения в запоминающих устройствах. Для извлечения слова из памяти процессор обращается по соответствующему адресу.

Чем больше значение максимального адреса памяти, тем больше вычислительная мощность процессора. Одно 4-битовое слово процессора позволяет получить доступ к 16 различным словам памяти, так как двоичный адрес в этом случае имеет 16 различных значений (0000, 0001, 0010 и так

далее до 1111). Другими словами, диапазон адресации 4-битового слова процессора равен 16 словам памяти. По аналогии, диапазон адресации 8-битового слова равен 256 словам памяти, а 16-битового слова — 65536 (65 К) словам памяти.

При работе с ЭВМ приходится часто ссылаться на подобные большие числа. Упрощают манипулирование ими сокращенные обозначения, округленные до ближайшей тысячи (буква К — «кило») или ближайшего миллиона (буква М — «мега») слов.

Возможность адресации к данным, находящимся в памяти, не ограничена единственным словом. Большинство процессоров рассчитано на применение для адресации двух и более слов. Поэтому для 4-разрядных процессоров обычными являются диапазоны адресации, равные 4096 (4 К) и 8192 (8 К) словам памяти. Для 8-разрядных процессоров этот диапазон обычно составляет 65536 (65 К) слов. Для 16-разрядных процессоров возможно обращение к 4194304 (4 М) слов памяти.

Размер (емкость) памяти ЭВМ может быть выражен в байтах, Кбайтах, Мбайтах или в словах. Например, память в 65536 слов 8-разрядной микроЭВМ имеет тот же размер, что и память в 32768 слов 16-разрядной микроЭВМ. В обоих случаях размер памяти равен 65536 байт.

Фактическая емкость оперативной памяти зависит от комплектации ЭВМ. Если ЭВМ должна оперировать большими объемами данных, то ее память может быть расширена за счет использования внешних запоминающих устройств, емкость каждого из которых может в тысячи раз превышать емкость оперативной памяти.

Быстродействие ЭВМ может быть оценено скоростью выполнения команд, временем доступа к памяти, временем цикла памяти, временем реакции на прерывание и другими составляющими параметрами, учитывающими логические возможности системы команд.

Время выполнения разных команд в ЭВМ неодинаково. Поэтому обычно указывают интервал времени выполнения большинства команд. Часто скорость выполнения команд характеризуется также числом наиболее простых операций за секунду или средним числом операций за секунду, учитывающим частоту появления различных операций при выполнении контрольных программ.

Скорость одних процессоров в десятки и сотни раз превосходит скорость других. Медленнодействующие процессоры строят с использованием генераторов тактовых импульсов частотой в несколько сотен килогерц. Для выполнения одной команды им требуется от 10 до 20 микросекунд. Тактовая частота быстродействующих процессоров достигает десятков мегагерц, что позволяет выполнять команды за десятые доли микросекунды.

Быстродействие памяти характеризуется временем доступа к памяти и временем цикла памяти. Оба эти параметра тесно связаны между собой (чем меньше время доступа, тем короче время цикла).

Одна из разновидностей параметра времени доступа служит для указания на то, какое время необходимо для вывода информации из памяти на шину данных после адресации нужной области памяти. Она называется временем доступа при чтении. Другая разновидность этого параметра —

время доступа при записи, т. е. время, необходимое для записи данных в адресуемую область памяти.

Время доступа определяется скоростью работы схем, на которых построена память, и организацией памяти. Например, память на интегральных микросхемах может иметь время доступа 200 наносекунд. Это означает, что время от адресации любой области памяти до поступления данных на выходную шину памяти составляет 200 наносекунд. Наряду с этим при работе с памятью на магнитной ленте среднее время доступа может достигать 20 с и более.

Время цикла памяти — это наименьший интервал времени, который может иметь место между двумя обращениями к памяти.

Стоимость ЭВМ обусловлена суммарной стоимостью всех устройств, входящих в нее, и существенно зависит от комплектации. Расширение системы команд, емкости памяти, повышение быстродействия приводит к увеличению стоимости ЭВМ.

### 2.3. ЭВМ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Вычислительные комплексы общего назначения создают на основе больших и средних универсальных ЭВМ. Они предназначены для работы в крупных вычислительных центрах при решении широкого круга научных, информационных и экономических задач. Типичная область их применения в машиностроении — интегрированная автоматизация, системы автоматизированного проектирования и управления.

Характерными свойствами ЭВМ общего назначения являются: обширная номенклатура выполняемых операций — двоичная и десятичная арифметика, преобразование десятичных чисел в двоичные и двоичных чисел в десятичные, логическая обработка данных, анализ результатов операций и обширный набор специальных операций; разнообразие форм представления данных — представление чисел с плавающей запятой (полулогарифмическая форма) и фиксированной запятой (естественная форма) в диапазоне от  $10^{-65}$  до  $10^{65}$ , высокая точность представления чисел (8...16 десятичных знаков), представление логических и символьных данных; большая емкость оперативной памяти (до 4 Мбайт и более); развитая система интерфейса ввода-вывода информации, обеспечивающая возможность подключения внешних запоминающих устройств большой емкости (сотни Мбайт), параллельную работу большого количества периферийных устройств, стандартную организацию выполнения операций ввода-вывода независимо от скорости работы различных периферийных устройств и каналов связи, простоту программирования операций ввода-вывода, возможность обнаружения сбоя в периферийных устройствах, возможность обмена информацией в сети ЭВМ, возможность наращивания мощности по вводу-выводу информации.

Эти машины имеют наиболее широкие возможности и наибольшую производительность по сравнению с другими видами ЭВМ. Стоимость их велика и составляет в зависимости от быстродействия, емкости памяти и состава устройств ввода-вывода информации от сотен тысяч до нескольких миллионов рублей.

В нашей стране среди вычислительных комплексов общего назначения широкое распространение получила Единая система ЭВМ (ЕС ЭВМ), объединяющая ЭВМ с быстродействием от десятков тысяч до миллионов операций в секунду и с емкостью оперативной памяти от десятков тысяч байт до 4 Мбайт. ЕС ЭВМ разрабатывается и производится совместно странами социалистического содружества (например, ЕС 1066, ЕС 1045, ЕС 1022 и т. д.).

Важнейшей особенностью машин ЕС ЭВМ является их программная совместимость, которая достигается едиными формой и форматами представления данных, набором команд, системой адресации, одинаковой логической структурой входящих в ЕС ЭВМ моделей машин.

Минимальным структурным элементом данных является байт. Байт может представлять какой-либо символ или две десятичные цифры. Байты могут храниться и обрабатываться отдельно или полями. Поля фиксированной длины имеют следующие названия и формат: полуслово — два последовательных байта; слово — два последовательных полуслова; двойное слово — два последовательных слова. Поля переменной длины могут иметь формат до 256 байт.

Полный набор содержит 144 команды, которые включают группу команд обработки двоичных чисел с фиксированной и плавающей запятой, команды выполнения операций десятичной арифметики, команды логических операций и команды управления. Команды имеют пять форматов. В зависимости от формата команды могут быть безадресными, одноадресными, двухадресными и трехадресными.

В ЕС ЭВМ принята побайтовая адресация при 24-битовом адресе, что дает возможность обращаться к оперативной памяти с наибольшей емкостью 16 777 216 байт.

В структуре машин ЕС ЭВМ заложены возможности использования их в сложных автоматизированных системах проектирования и управления.

Программная совместимость машин ЕС ЭВМ позволяет применять общие программы математического обеспечения, т. е. конкретная задача может быть решена по одной и той же программе на разных машинах без перепрограммирования или повторной трансляции. Благодаря программной совместимости появляется возможность накопления фонда программ и создания пакетов прикладных программ для типовых задач. Можно вести разработку и отладку программных модулей на отдельных недорогих моделях ЕС ЭВМ, а затем объединить и использовать эти программы на большой системной ЭВМ, что существенно ускоряет и удешевляет процесс создания сложного математического обеспечения автоматизированных систем.

Во всех моделях ЕС ЭВМ используется сочетание программных и аппаратных средств управления, образующих иерархическую структуру, т. е. структуру с определенными степенями подчинения. На верхнем уровне этой структуры располагаются программные средства управления, а на нижнем — аппаратные. Программные средства составляют операционную систему, устанавливающую порядок функционирования всех устройств ЭВМ при различных режимах работы. Тем самым программисты

избавлены от необходимости каждый раз вносить этот порядок в свои программы.

Программно-аппаратные средства управления являются более совершенными и гибкими по сравнению с чисто аппаратными и выполняют более широкие функции, так как содержат системы прерываний и приоритетов, динамического распределения памяти и защиты памяти.

Система прерывания используется, когда имеют место асинхронные режимы работы ЭВМ или возникают программно-независимые события (события, происходящие вне процессора и вызванные посторонними по отношению к выполняемой программе источниками). В частности, она является основой организации работы ЭВМ в мультипрограммном режиме.

Приоритетность прерываний распределяется по группам. Все источники прерываний в машинах ЕС ЭВМ разделены на пять групп: прерывания по контролю ЭВМ; по ошибкам программы, при обращении к управляющим программам; по сигналам от внешних источников и сигналам от устройств ввода-вывода. Пяти группам прерываний соответствуют пять специальных программ (ситуации, вызывающие прерывание данной группы, обрабатываются отдельной программой).

Для машин ЕС ЭВМ предусмотрено использование принципа динамического распределения памяти, при котором выделение ячеек памяти для размещения информационных массивов производится в процессе решения задач с учетом фактических длин массивов, порядка их реализации, а также занятости ячеек. Программирование задач осуществляется в условных адресах. Переход к действительным адресам при реализации программ обеспечивается специальными аппаратно-программными средствами.

Динамическое распределение памяти при наличии внешних запоминающих устройств большой емкости предоставляет возможность пользователю считать, что в его распоряжении имеется большая оперативная память, объем которой ограничен только разрядностью адреса в команде. На самом деле эта память является виртуальной (кажущейся), так как в любой данный момент времени только небольшая часть информации, содержащейся в виртуальной памяти, будет храниться в реальной оперативной памяти. Соответствующая система управления позволяет программисту использовать большие ресурсы внешней памяти, не занимаясь организацией обмена информацией между оперативными и внешними запоминающими устройствами.

Размещение в памяти нескольких независимых программ требует принятия специальных мер, предотвращающих разрушение одних программ другими.

Новые, только что составленные программы, как правило, содержат погрешности, которые могут приводить к непредвиденным изменениям и разрушению информации, принадлежащей другим программам. Эти погрешности часто нельзя обнаружить без пуска программы на ЭВМ и анализа возникающих во время решения задачи ситуаций.

Даже если программа была предварительно отлажена, возможны такие комбинации данных, которые приводят к выходу программы за отве-

денную ей область памяти. Еще одним источником аналогичных нарушений могут быть ошибки оператора за пультом.

Защита оперативной памяти осуществляется в машинах ЕС ЭВМ по ключам. Сущность этого метода защиты заключается в том, что каждой рабочей программе и отводимым для ее размещения массивам памяти придается специальный код — ключ защиты. Обращение к памяти разрешается только в том случае, когда ключ программы совпадает с ключом защиты памяти.

Наличие развитой программно-аппаратной системы управления позволяет организовать несколько различных режимов работы машин ЕС ЭВМ.

Однопрограммный режим предусматривает такой способ организации решения задачи, при котором все устройства ЭВМ заняты выполнением только одной рабочей программы. Применение однопрограммного режима с непосредственным доступом оператора к ЭВМ невыгодно с точки зрения эффективного использования возможностей и производительности машин ЕС ЭВМ. Дело в том, что время реакции человека при работе с пультом ЭВМ, при обдумывании дальнейших действий чрезвычайно велико по сравнению с временем реакции ЭВМ, поэтому машинное время используется не полностью.

В однопрограммном режиме с последовательным выполнением программы без участия оператора в памяти ЭВМ имеется несколько рабочих программ, введенных заранее и выполняемых последовательно под управлением операционной системы. Автоматический переход к очередной программе осуществляется только по окончании текущей программы или при обнаружении в ней погрешности. При таком режиме эффективность ЭВМ повышается, однако возможности параллельной работы устройств ЭВМ используются не полностью.

Существенно более эффективными для машин ЕС ЭВМ являются мультипрограмные (многопрограммные) режимы работы: режим пакетной обработки, режим разделения времени и режим запрос — ответ.

Одновременное выполнение нескольких задач в мультипрограммном режиме достигается благодаря тому, что при их выполнении всегда возникают паузы, связанные с ожиданием истечения заданного в вычислительном процессе интервала времени, выполнения операций ввода-вывода информации и других операций. На время ожидания выполнения текущей задачи откладывается и процессор по сигналу прерывания переходит к выполнению следующей задачи с последующим возвратом к прерванной рабочей программе.

Таким образом, принцип мультипрограммирования заключается в одновременном выполнении на одной и той же ЭВМ нескольких рабочих программ (в одновременном решении нескольких различных задач). При этом в каждый момент времени процессор выполняет только какую-то одну команду.

При режиме пакетной обработки вся необходимая информация (рабочие программы, исходные данные) вводятся в память ЭВМ заранее, до начала решения задач, а в ходе их решения вмешательство



оператора с пульта не допускается. С помощью операционной системы из введенных программ формируются пакеты программ (пакеты задач). Выполнение программ, составляющих пакет, осуществляется так, чтобы обеспечивалось наиболее широкое использование совмещений в работе отдельных устройств ЭВМ.

Программы, собираемые в пакет, могут иметь различные приоритеты с использованием системы как статических, так и динамических приоритетов. В первом случае приоритет программы является абсолютным, не связанным с динамикой процесса реализации пакета. Во втором случае присвоение программе того или иного приоритета осуществляется в ходе выполнения программ пакета. Присвоение динамических приоритетов связывается, например, со временем ожидания программ при реализации пакета.

Одновременное выполнение нескольких программ приводит к необходимости распределения ресурсов ЭВМ между ними: времени процессора, областей оперативной памяти, областей памяти внешних запоминающих устройств прямого доступа (накопителей на магнитных дисках) и последовательного доступа (накопителей на магнитных лентах, перфокарточных устройствах), времени каналов. Ресурсами являются не только аппаратные средства, но и программы, выполняющие системные функции. Обычно операционная система строит очередь запросов на каждый ресурс. Очередь упорядочивается либо на основе приоритетов, либо в порядке поступления запросов.

При режиме разделения времени некоторое число независимых пользователей (операторов) имеют в процессе решения своих задач непосредственный и одновременный доступ к ЭВМ с помощью местных или удаленных периферийных устройств ввода-вывода. Оперативное взаимодействие удаленных пользователей с ЭВМ обеспечивается через специальные или общегосударственные (телетайпные, телефонные) линии связи.

Удовлетворение запросов на решение задач одновременно со стороны нескольких пользователей осуществляется в любое время и состоит в реализации их программ в определенной последовательности под управлением операционной системы. При одновременном обращении нескольких пользователей ЭВМ реагирует на их запросы с некоторой задержкой времени, которую пользователь обычно не замечает.

Режим разделения времени представляет собой наиболее развитую форму многопрограммной работы, сочетая эффективное использование возможностей ЭВМ с удобствами индивидуального пользования. Можно определить разделение времени как программный режим, при котором пользователь имеет возможность непосредственного доступа к ЭВМ, а время ответа близко к тому, которое было бы при единоличном использовании машины.

Для режима работы с разделением времени на первый план выступают вопросы, связанные с обеспечением удобств пользователям в процессе их взаимодействия с ЭВМ. Эти удобства определяются прежде всего наличием диалога пользователей с ЭВМ и соответствующего простого для изучения и применения языка управления, наличием общедоступных языков программирования, высоким качеством операционной системы,

возможностью совместного доступа одновременно работающих пользователей к библиотеке стандартных программ и возможностью длительного хранения в ЭВМ большого количества рабочих программ пользователей.

Важнейшим достоинством работы в режиме разделения времени является наличие диалога пользователей с мощным вычислительным комплексом; этот диалог не возможен при пакетной обработке задач. Диалоговый режим — залог успеха при реализации большинства задач, связанных с интегрированной автоматизацией, а также построением ее систем, подсистем и отдельных модулей. Быстрое развитие методов автоматизации проектно-конструкторских работ и диалогового режима позволяют проводить конструирование, исследование, технологическую подготовку производства, постановку различных экспериментов и обработку результатов испытаний непосредственно на рабочих местах конструкторов, технологов и исследователей.

Режим запрос — ответ характерен для решения таких задач, как предоставление справочной информации, резервирование мест и т. п. Это — частный случай работы ЭВМ с разделением времени, при котором каждому запросу соответствует своя программа, вырабатывающая по исходным данным определенный ответ. Группа отвечающих программ, составленных по возможным вопросам, постоянно хранится в памяти (например, типа магнитных дисков) ЭВМ в виде некоторой библиотеки. Прямой доступ к ЭВМ имеют удаленные терминалы.

Запросы могут иметь различные приоритеты и временные ограничения на срок их обслуживания. В связи с этим появляется необходимость в диспетчировании (в определении порядка обслуживания запросов). Диспетчирование определяет стратегию обслуживания, с помощью которой из множества поступивших от пользователей запросов выбирается запрос для обслуживания в первую очередь. Если приоритетность запросов не установлена, то они обслуживаются в порядке поступления.

ЭВМ, работающая в режиме запрос — ответ, может быть загружена не полностью. Тогда в промежутках между обслуживанием запросов она может решать другие задачи (выполнять фоновую работу), например, в режиме пакетной обработки.

## **2.4. УПРАВЛЯЮЩЕ-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ**

Автоматизация машиностроительного производства развивается в направлении создания иерархических (с определенными степенями подчинения) систем автоматизированного проектирования и управления. Эти системы оснащают средствами вычислительной техники на всех уровнях (степенях) с обеспечением обмена информацией между ними.

На верхнем уровне, куда стекается с нижних ступеней большое количество разнообразной информации, нужны вычислительные комплексы общего назначения с высокой вычислительной мощностью и способные работать в мультипрограммных режимах (типа ЕС 1045, ЕС 1066 и т. д.). На более низких ступенях иерархии требуются иные средства вычислительной техники для непосредственного управления технологическим обо-

рудованием, регистрации его функционирования, сбора, предварительной обработки производственной информации и передачи ее на верхний уровень. Эти средства должны быть прежде всего высоконадежными, недорогими и легкодоступными для массового применения в цеховых условиях. К ним относятся управляюще-вычислительные комплексы (УВК), создаваемые на базе серийных мини-ЭВМ, микроЭВМ, микропроцессорных комплектов и специализированных ЭВМ.

От конкретных архитектурных свойств УВК зависит эффективность выполнения различных производственных задач. Понятие архитектуры любой ЭВМ включает в себя все то, что машина предоставляет программисту, работающему на уровне машинных команд: структуру процессора и памяти, систему адресации и прерываний, форматы команд, средства программирования, средства управления внешними (периферийными) устройствами, состав внешних устройств и т. д.

УВК представляют собой набор технических и программных средств, из которых пользователь может создавать различные по назначению и архитектуре автоматизированные системы управления для конкретного применения. Унифицированный интерфейс ввода-вывода позволяет использовать единую номенклатуру внешних устройств, что сокращает затраты на разработку и эксплуатацию самых различных систем. Программная совместимость комплексов существенно сокращает время на обучение пользователя, позволяет накапливать фонды программ и обмениваться ими, обеспечивает преемственность в создании математического обеспечения.

Принципиальные системные особенности УВК допускают их эффективную работу совместно с машинами ЕС ЭВМ. При этом УВК используют в качестве различных компонентов систем управления: удаленных от машин ЕС ЭВМ высокоинтеллектуальных терминалов, концентраторов сообщений в вычислительных сетях, периферийных процессоров и процессоров ввода-вывода, обеспечивающих связь с объектами управления в реальном масштабе времени.

Понятие мини-ЭВМ появилось в конце 60-х годов. Это понятие означает, что предельно ограничены в ЭВМ арифметическое оборудование и длина слов (чисел), которыми ЭВМ манипулирует. При сравнении с мини-ЭВМ мощная ЕС ЭВМ представляется специализированным вычислительным комплексом для выполнения сложных и трудоемких вычислительных работ. В производственных задачах невычислительного характера (в таких, как управление отдельными объектами и группой объектов, сбор данных о ходе производства, организация АРМ конструктора, технолога и диспетчера, организация информационно-поисковых систем и т. д.) мощная ЭВМ общего назначения не может быть высокоэффективной, так как ее сложное и дорогое арифметическое оборудование как бы функционирует при этом на холостом ходу.

За счет ограничения по сравнению с ЭВМ общего назначения набора команд, длины машинных слов, емкости оперативной памяти, применения микропрограммирования и более простой организации ввода-вывода информации стоимость мини-ЭВМ намного ниже.

Мини-ЭВМ положили начало массовому применению малых цифровых

машин в системах автоматизации всех этапов и видов машиностроительного производства. Проще отыскать какую-нибудь узкую область, в которой малые ЭВМ еще не нашли широкого использования, чем дать полный перечень успешного применения этих поистине универсальных машин. Первоисточником высокой эффективности малых ЭВМ является реализованное в них понимание цифровой машины как универсального устройства, позволяющего автоматизировать не только вычисления, но и выполнение практически всех видов производственных задач.

Вместе с тем условие высокой эффективности малых ЭВМ связано с принципом ориентации на конкретное применение. В противоположность ЭВМ общего назначения, применяемой одновременно для выполнения многих разнохарактерных работ, малая ЭВМ при всей ее универсальности используется в каждом конкретном случае, как правило, для одной четко определенной цели. Если в сложных производственных системах несколько целей, то используют несколько различных по структуре и функциональным возможностям малых ЭВМ. И лишь загрузка малых ЭВМ несвойственной им сугубо вычислительной работой обычно приводит к резкому снижению эффективности.

Пользователи быстро по достоинству оценили малые ЭВМ, ориентированные на решение определенного класса производственных задач. Сама идея управляюще-вычислительного устройства, имеющего архитектуру ЭВМ и предоставляющего пользователю монополию выполнения в диалоговом режиме своих задач, оказала огромное влияние на дальнейшее развитие вычислительной техники. Однако пока не были созданы дешевые микроЭВМ, построенные на основе микропроцессорных комплектов интегральных схем, мало кто мог позволить себе иметь персональную вычислительную машину только для решения индивидуальных задач.

Совершенствование малых ЭВМ происходит одновременно с развитием микроэлектроники и технологии производства микропроцессорной техники. Под микропроцессором понимают программно-управляемое вычислительное устройство, построенное на одной или нескольких интегральных микросхемах большого или сверхбольшого уровня интеграции. Микропроцессоры осуществляют прием, обработку и выдачу цифровой информации.

Как вычислительное устройство микропроцессор характеризуется: разрядностью обрабатываемых данных и выполняемых команд, способностью к наращиванию разрядности, временем выполнения различных команд, числом команд (микрокоманд), наличием микропрограммного управления, числом внутренних регистров, возможностью обеспечения режима прерывания, числом уровней прерывания, типом интерфейса, способностью к обработке десятичных кодов, наличием и объемом стека (магазинной памяти), объемом адресуемой оперативной памяти, наличием канала прямого доступа к памяти, числом входных и выходных шин и их разрядностью, наличием резидентного ассемблера и кросс-ассемблера, возможностью программирования на языках высокого уровня (БЕЙСИК, ПАСКАЛЬ и др.).

Язык программирования — это набор команд и правил их применения для описания алгоритма решения задачи с целью составления программы

работы микропроцессора, выполняющего это решение. Разнообразные языки программирования различных уровней имеют различную степень сходства с разговорным (естественным) языком. Языки программирования с высокой степенью сходства с разговорным языком значительно проще для понимания, однако по сравнению с языками низкого уровня требуют больше машинных команд для решения той же задачи, больший объем памяти для хранения данных и большее время для выполнения программ. Кроме того, использование языков высокого уровня возможно только при работе с вычислительными системами сравнительно сложной архитектуры.

Программирование на машинном языке применяют только при составлении очень коротких микропроцессорных программ. Если длина программы превышает несколько байтов, программирование на машинном языке становится трудоемким. Чтобы иметь возможность обратиться к любой команде, приходится помнить начальный адрес программы и адреса всех команд. Например, если обнаруживается, что какая-либо команда пропущена, то приходится изменять всю программу. Микропроцессор определенного типа имеет свой набор машинных команд, и, следовательно, машинные языки разнотипных микропроцессоров программно не совместимы.

При работе с микропроцессорами распространено программирование на языке ассемблера, который предоставляет пользователю возможность составлять программы в мнемонической форме. Для наименования каждой машинной команды используется сокращенное написание английских слов, при этом названия инструкций ассоциируются с реально выполняемыми микропроцессором операциями. Запись программы на языке ассемблера выполняют в символических адресах, т. е. вместо числовых значений адресов используются имена. Начало программы имеет определенный числовой адрес, относительно которого и ведется отсчет значений символических адресов.

Программу на языке ассемблера составляют с помощью служебной программы, называемой редактором, которая помогает программисту легко и без ошибок записывать мнемонические инструкции (команды) и данные. Если ошибки и возникают, то программа-редактор позволяет их сравнительно легко обнаружить и исправить. После редактирования готовая программа проходит этап ассемблирования, т. е. преобразования с помощью резидентной операционной системы микропроцессора символических инструкций и адресов в машинные команды и реальные числовые адреса. Если конкретный микропроцессор не имеет служебных программ для ассемблирования (резидентного ассемблера), то этот этап программирования можно выполнить на любой ЭВМ, имеющей соответствующую кроссовую операционную систему (кросс-ассемблер).

Главное достоинство программирования на языке ассемблера заключается в том, что оно позволяет разработчику прикладных программ наиболее полно использовать все возможности микропроцессорной техники.

Как микроэлектронное устройство микропроцессор характеризуется типом базовой технологии, степенью (уровнем) интеграции элементов,

параметрами источников питания, помехоустойчивостью, нагрузочной способностью, устойчивостью к механическим и климатическим воздействиям, типом корпусов и количеством микросхем.

Первые микропроцессоры с архитектурой цифровой вычислительной машины использовали 4-разрядные машинные слова. Их быстродействие было малым, и они значительно уступали мини-ЭВМ по эффективности. Вместе с тем способность выполнять хранимую в памяти программу и осуществлять предписанный алгоритм свойственна им в полной мере.

В 70—80-х годах были созданы несколько новых поколений микропроцессоров с 8- и 16-разрядными словами, с расширенным набором команд, оперативной памятью 8...64 Кбайт и более широкими функциональными возможностями.

В настоящее время микроЭВМ по основным характеристикам сравнялись с мини-ЭВМ, а по надежности и эффективности значительно превосходили их. Дальнейшее развитие микропроцессорной техники связано с увеличением их быстродействия до миллиона операций в секунду, совершенствованием операционных систем и средств защиты памяти, увеличением объема оперативной памяти до 256 Кбайт и выше, применением языков программирования высокого уровня. Большое внимание уделяется при этом повышению надежности.

Микропроцессорным комплектом (МПК) интегральных схем называют набор микропроцессорных и других интегральных микросхем, совместимых по конструктивному и технологическому исполнению и предназначенных для совместного использования при построении микропроцессоров, универсальных и специализированных микроЭВМ. В состав МПК различных серий входят арифметико-логические устройства, буферные регистры, микропрограммные устройства, таймеры (датчики времени), генераторы импульсов, микропроцессоры, устройства памяти, программируемые последовательные и параллельные интерфейсы, программируемые контроллеры, шинные усилители, устройства управления вводом-выводом, арифметические расширители и т. д.

Выпускаемые отечественной промышленностью МПК можно разделить на универсальные и специализированные. Группа универсальных МПК, применяемых в различных средствах вычислительной техники и цифровой автоматики, более многочисленна; к ней принадлежат такие широко известные микропроцессорные комплекты, как К580, К587, КР587, КР1804, У83-К1883 и др. Специализированные МПК предназначены для построения только одного типа вычислительных машин. Например, комплекты серии К536 и К586 используют в микроЭВМ семейства «Электроника-С5», а серии К581 — в микроЭВМ «Электроника-60».

Универсальные МПК применяют при создании производственных микропроцессорных систем со специальными функциями в зависимости от предъявляемых требований. Разработка таких систем самого различного уровня сложности всегда связана со следующей особенностью: каждая система разрабатывается как новое изделие. При этом не только разрабатывается оригинальное программно-математическое обеспечение, но и выполняется необходимая стыковка отдельных микросхем, а также отладка всей микропроцессорной системы. Срок разработки и выпуска оригиналь-

ных микропроцессорных систем существенно возрастает по сравнению с использованием серийных мини-ЭВМ и микроЭВМ.

Средства вычислительной техники класса мини-ЭВМ широко представлены в нашей стране: СМ-4, СМ-1420, «Электроника-100/25», «Электроника-79» и др. Решение задач качественного совершенствования структуры УВК, развитие элементной базы, прогресс конструкции и технологии обеспечили крупносерийное производство таких ЭВМ. Для них имеются стандартные операционные системы типа RSX-11M. Мини-ЭВМ могут обслуживать одновременно несколько управляемых микроЭВМ. Широкие возможности операционных систем позволяют использовать языки программирования ФОРТРАН, ПАСКАЛЬ, БЕЙСИК, СИ, ЛИСП, библиотеки стандартных функций, базы данных и сети ЭВМ.

Опыт эксплуатации УВК выдвинул проблему создания многотерминальных систем и систем сетевой телеобработки данных. В таких УВК на нижнем уровне иерархии используют терминальные станции, построенные с применением средств микропроцессорной техники.

При наличии микроЭВМ без периферийных устройств мини-ЭВМ представляют собой необходимое средство коллективного пользования для разработки программ микроЭВМ, их загрузки, запуска и управления. Обязательное условие такой работы — программная совместимость машин.

Отечественная промышленность крупными сериями выпускает микроЭВМ: «Электроника-60», «Электроника НЦ-80-20/3», СМ-1800 и др. Состав периферийного оборудования зависит от области конкретного применения. Например, в базовый набор микроЭВМ «Электроника НЦ-80-20/3» входят: видеографический монитор с клавиатурой, термопринтер, накопитель на гибких дисках. Через специальный интерфейс к ЭВМ могут быть подключены графопостроитель, кодировщик планшетного типа, а также программатор постоянного запоминающего устройства с ультрафиолетовым стиранием.

Гибкие диски существенно расширяют возможности микроЭВМ за счет применения операционных систем типов RSX-11S, RT-11, РАФОС и др. RSX-11S представляет собой размещенную в памяти (резидентную) операционную систему, являющуюся подсистемой для RSX-11M. Эта многозадачная операционная система предоставляет возможность для исполнения программ, управляющих многими процессами реального времени.

RT-11 является дисковой многопользовательской операционной системой реального времени и позволяет исполнять программы в привилегированном или фоновом режимах. С ее помощью можно провести генерацию новой версии (разновидности) операционной системы, использовать для разработки программ высокоуровневые языки и высокопроизводительные программы.

Специализированные микроЭВМ предназначены для реализации определенного набора функций или решения конкретной задачи. В машиностроении в области автоматизированных систем управления оборудованием дискретного действия эффективны *программируемые контроллеры* (ПК) — новый класс специализированных микроЭВМ. По своим

функциям ПК близки к логическим схемам управления на элементах релейной электроавтоматики: они позволяют контролировать изменения входных сигналов и формировать соответствующие выходные управляющие сигналы либо типа «включить-отключить», либо в виде питающего напряжения постоянного и переменного тока.

В отличие от релейных схем, выполняющих жесткую логику управления, функции контроллеров программируются, что обеспечивает гибкую, более простую реализацию алгоритмов управления и многократное снижение затрат на проектирование и создание систем (подсистем) управления цикловой автоматикой.

Современные ПК характеризуются невысокой стоимостью, малыми размерами, большими функциональными возможностями, позволяющими выполнять не только логические, но и арифметические операции. В качестве внешних устройств они имеют дисплеи для контроля работы и программирования, печатающие устройства, а также переносные устройства ввода информации с магнитных лент. Конструктивное исполнение ПК позволяет использовать их в цеховых условиях рядом с технологическим оборудованием для управления циклом работы АЛ, агрегатных станков, транспортно-складских систем, работы в составе систем ЧПУ различного назначения, учета текущей работы оборудования и ресурса инструмента, диагностирования оборудования и т. д.

Уже в самом начале развития малых ЭВМ выяснилась их исключительная эффективность при использовании в качестве управляющих машин (в составе УВК). В процессах управления обычно не требуются высокая точность представления данных и высокопроизводительная арифметика, но крайне необходимы гибкое взаимодействие с объектами управления и высокая надежность функционирования, без которых немыслима работа автоматически действующих систем.

Сущность любого процесса управления сводится к тому, чтобы на основе анализа информации о текущем состоянии управляемой системы и заданных алгоритмов управления выдавать команды, определяющие действия различных объектов системы. Общая цель управления состоит в том, чтобы либо поддерживать состояние системы на необходимом уровне, либо обеспечить изменение этого состояния в нужное время и в требуемом направлении. Отсюда вытекают особенности сопряжения УВК с управляемыми объектами и необходимость работы УВК в реальном масштабе времени.

УВК способен воспринять, зафиксировать в своей памяти и обработать десятки и сотни тысяч данных в секунду. Это означает, что УВК может одновременно регистрировать и оценивать значения сотен и даже тысяч различных физических параметров, характеризующих состояние управляемой системы. Измерение физических параметров (перемещение обрабатываемой на станке заготовки, положение режущего и измерительного инструмента, усилие резания, давление масла в гидросистеме и т.д.) осуществляется специальными датчиками, преобразующими эти параметры чаще всего в аналоговые (непрерывные) электрические сигналы, которые и поступают в *устройство сопряжения с объектом (УСО)*.

Наряду с отсчетом значений аналоговых сигналов УСО обычно имеет



возможность последовательного опроса устройств и датчиков, выдающих информацию в дискретной (цифровой) форме: устройств автоматической смены инструмента и заготовок, счетчиков, измерительных приборов с цифровым выходом, однобитовых датчиков (выдают сигнал вида «включено-отключено») и т. д.

УСО располагает также средствами передачи управляющих воздействий в виде дискретных и аналоговых сигналов от процессора к управляемым объектам. В сочетании с возможностью воспринимать и перерабатывать информацию, отражающую состояние объектов, это позволяет управлять объектами с использованием принципов обратных связей.

Таким образом, типовая функция УСО — это ввод-вывод различных по характеристикам аналоговых и дискретных сигналов управления и контроля, включая инициативные сигналы. В более сложных случаях УСО обеспечивает преобразование и нормализацию сигналов (команд) с помощью собственных аппаратных и программных средств.

Для УСО характерен модульный принцип разработки функциональных элементов. Например, устройство сопряжения с объектом типа СМ 9104 содержит модули ввода аналоговых сигналов (6 модификаций), модули ввода-вывода дискретных сигналов (12 модификаций) и модуль нормализации сигналов.

Широкую номенклатуру модулей имеет УСО в международном стандарте КАМАК. Сопряжение между ЭВМ и КАМАК реализуется с помощью контроллеров и программ-драйверов, обеспечивающих передачу данных в контроллеры и прием из них. Модули КАМАК позволяют легко модифицировать системы управления, оптимально приспособливая их к условиям производства путем замены одних модулей другими.

Необходимость работы УВК в реальном масштабе времени означает, что результаты обработки сигналов и управляющие команды должны быть получены в такие сроки, чтобы можно было успеть ими воспользоваться для воздействия на управляемую систему. Другими словами, УВК должен функционировать с такой скоростью, чтобы темп его работы практически не отличался от темпа работы объектов управления и обеспечивалось соответствие между вырабатываемыми УВК командами и действительным состоянием объектов. Для этого в составе математического обеспечения УВК должна функционировать операционная система реального времени с развитым многоуровневым приоритетным прерыванием.

Для организации службы реального времени в УВК нужен также таймер (датчик времени): в зависимости от параметра времени определяется последовательность выполнения отдельных частей алгоритма управления, отсчетов контролируемых параметров и выдача управляющих команд с необходимыми временными интервалами.

Процесс прерываний организуется как программными, так и аппаратными средствами. Передача управления осуществляется по запросам либо процессора, либо объектов управления. Каждому запросу присваивается приоритет в зависимости от срочности обслуживания, а по приоритетам устанавливается порядок обработки запросов. Соответственно устройства сопряжения с объектами могут быть пассивными и активными. Пассив-

ные УСО принимают и выдают сигналы по программе процессора. Активные УСО могут прерывать основную программу процессора или приостанавливать ее для обращения к памяти в режиме прямого доступа.

Итак, УВК обеспечивают в реальном масштабе времени управление технологическими процессами и оборудованием на машиностроительных предприятиях по многим параметрам, осуществляя выдачу управляющих команд в предусмотренной программой временной последовательности, сопряжение с объектами управления и связь с обслуживающим персоналом.

## 2.5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РАБОЧИЕ МЕСТА

Техническое обеспечение автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов составляют различные ЭВМ с широким набором периферийных устройств для обеспечения диалогового режима работы пользователей, создания баз данных и выпуска конструкторско-технологической документации. В общем случае математическое обеспечение составляют четыре вида программ: системные программы; программное графическое обеспечение взаимодействия пользователей с ЭВМ; программные средства геометрического моделирования, которые используются при решении геометрических задач, возникающих на различных этапах автоматизированного проектирования; прикладные программы решения конкретных инженерных задач.

Типовые системы автоматизированного проектирования (САПР) создают в виде одноуровневых и многоуровневых структур. Основой технического обеспечения одноуровневых САПР являются автоматизированные рабочие места (АРМ), организуемые на основе ЭВМ общего назначения и малых ЭВМ. Выбор типа ЭВМ определяется прежде всего сложностью объекта проектирования.

*Супер-АРМ* эксплуатируют автономно и предназначены для решения сложных конструкторских и технологических задач. В них используют модификации вычислительных комплексов ЕС ЭВМ со штатным набором периферийных устройств, обеспечивающих ввод, вывод, хранение и тиражирование алфавитно-цифровой и графической информации. Например, в состав периферийного оборудования АРМ на базе ЭВМ ЕС 1066 входят: до 32 устройств отображения информации ЕС 7927, графические дисплеи ЕС 7905 и ЕС 7980 на 16 рабочих мест, графопостроители ЕС 7053, накопители на магнитных дисках ЕС 5067 и лентах ЕС 5025.03, алфавитно-цифровые печатающие устройства ЕС 7934, устройства снятия твердой копии с изображения на экране дисплеев, кодировщики графической информации (сколки), устройства вывода информации на микрофиши и микрофильмы, устройства связи с другими ЭВМ.

*Средние АРМ* представляют собой проблемно-ориентированные мини-ЭВМ коллективного пользования (обычно до 10 рабочих мест), предназначенные для решения широкого круга проектных задач средней сложности. Их эксплуатируют как в автономном режиме, так и в составе многоуровневых САПР. Например, на основе базового комплекта мини-ЭВМ мод. СМ-1420 созданы АРМ 2.07 и АРМ 2.08, которые специализиро-

ваны для проектирования изделий машиностроения и технологических процессов их изготовления. Пользователи могут: вводить в ЭВМ и просматривать в разных масштабах чертежи и их корректировать; разрабатывать в диалоговом режиме оригинальные конструкции узлов и деталей; разрабатывать кинематические, гидравлические и электрические схемы; создавать архивы чертежей; вводить и редактировать текстовые материалы; получать в результате проектирования конструкторскую и технологическую документацию, в том числе управляющие программы к станкам с ЧПУ, на которых предстоит обрабатывать спроектированные детали.

*МикроАРМ*, организуемые на основе недорогих и высококачественных микроЭВМ, получают наиболее широкое применение в САПР. Их эффективно используют и в качестве персональных технических средств в автономном режиме работы (персональные 16-разрядные микроЭВМ ЕС 1840, ЕС 1850), и в качестве терминальных станций многоуровневых САПР (АРМ 2-01, «Автограф-840» и др.). Они также могут обслуживать одновременно несколько пользователей.

Для более полного ознакомления с оборудованием и математическим обеспечением АРМ рассмотрим комплекс «Автограф-840», организуемый на основе микроЭВМ мод. СМ-1810. Технические и программные интерфейсы этого АРМ соответствуют стандартам СМ ЭВМ и международным стандартам, что позволяет применять в качестве основы и другие модели ЭВМ (например, СМ-1420, СМ-1600, СМ-1700).

В состав АРМ «Автограф-840» (рис. 2.2) входят: 16-разрядная микроЭВМ СМ-1810, устройство отображения графической и алфавитно-цифровой информации «Автограф-841», устройство получения твердой копии с изображения на экране дисплея «Автограф-842», минипланшет «Автограф-843», графопостроитель «Микроника-297», растровое печатающее устройство СМП-6320 и перфоленточная станция.

МикроЭВМ СМ-1810 (рис. 2.3) построена на базе 16-разрядного микропроцессора К 1810 ВМ86 со средней производительностью около одного миллиона операций в секунду и возможностью прямой адресации оперативной памяти объемом до 2 Мбайт. Допускается многопроцессорный режим функционирования ЭВМ. Система команд определяется архитектурой микропроцессора и обеспечивает выполнение арифметических операций с плавающей запятой, логических операций, операций перекодировки и вычисление тригонометрических, логарифмических и степенных функций.

В ЭВМ используют различные устройства: модули системной оперативной памяти объемом до 4 Мбайт; модули локальной оперативной памяти объемом 256 Кбайт для каждого микропроцессора; модули постоянной программируемой памяти объемом от 8 до 64 Кбайт; устройства внешней памяти на гибких магнитных дисках с одинарной и двойной плотностью записи объемом до 1 Мбайта (с прямым доступом в оперативную память); устройства внешней памяти на малых гибких дисках объемом до 120 Кбайт; устройства внешней памяти на магнитных дисках СМ-5408 объемом до 16 Мбайт или на дисках типа «Винчестер» объемом до 40 Мбайт. Архитектурная особенность оперативной памяти позволяет

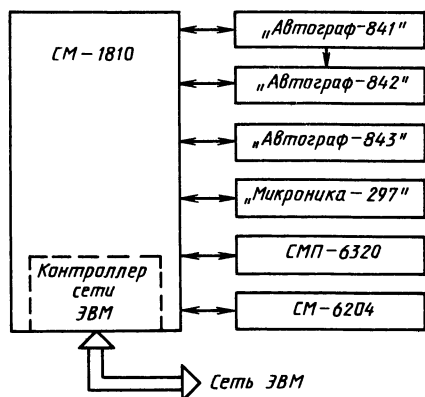
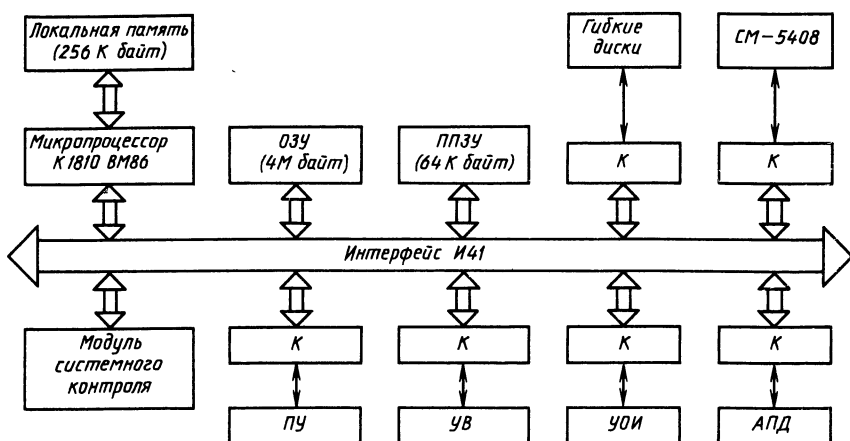


Рис. 2.2. АРМ «Автограф-840»

Рис. 2.3. Структурная схема микроЭВМ СМ-1810:

ОЗУ — оперативные запоминающие устройства; ППЗУ — программируемые постоянные запоминающие устройства; К — контроллеры; ПУ — панель управления; УВ — устройства ввода-вывода информации; УОИ — устройства отображения информации; АПД — аппаратура передачи данных



более динамично использовать ее ресурсы в многопроцессорном варианте структуры ЭВМ.

Технические и программные средства СМ-1810 выполнены по модульному принципу, что, в частности, обеспечивает высокую гибкость при создании АРМ и открытость их как системы (открытость АРМ означает возможность разработки и эксплуатации в составе комплекса новых модулей и устройств в связи с развитием функций и элементной базы АРМ).

Технические средства СМ-1810 содержат более 50 функционально самостоятельных модулей, которые выполнены в виде одной или двух печатных плат, объединенных внутренним интерфейсом И41. Этот интерфейс представляет собой унифицированную магистраль, содержащую шину данных, адресную шину, линии управления и линии электропитания модулей (всего 73 линии). К магистрали можно подключить до 20 компонентов. В совокупность линий интерфейса входят 20 линий адресов, 16 линий данных и 8 линий запросов прерывания соответственно для 20-разрядных адресов оперативной памяти, 16-разрядных данных и 8 уровней прерыва-

ния. Дискретная информация на интерфейсе представлена в виде однополярных импульсов постоянного тока.

«Автограф-841» — дисплей с двумя независимыми дисплейными процессорами и с двумя страницами памяти. Размер экрана по диагонали 40 см, емкость экрана  $512 \times 512$  точек. Возможен алфавитно-цифровой и графический режимы работы.

«Автограф-842» — устройство для вывода на печать текстовой и графической информации, изображенной на экране дисплея. Принцип печати — знаковосинтезирующий последовательный электромеханический. Имеет 158 печатных символов (прописные и строчные буквы латинского и русского алфавитов, цифры и специальные знаки). Синтезирование символов осуществляется в матрице  $9 \times 8$  точек. Устройство обеспечивает печать со скоростью 80 символов в секунду на бумажной ленте или отдельных листах бумаги шириной до 300 мм в трех экземплярах (оригинал и две копии).

Если к качеству изображения не предъявляют высоких требований, то устройство может быть использовано для вывода графической информации. Возможные позиции печатного формата образуют растр (систему точек) с 96 символами в строке и практически не ограниченной длиной. Подбирая печатные символы растра, можно формировать изображения, цвет которых определяется цветом красящей ленты.

«Автограф-843» — кодирующий минипланшет для преобразования графической информации в цифровые коды с разрешающей способностью 0,1 мм. Это устройство используют при организации диалога пользователя с ЭВМ при решении многочисленных задач машинной графики. Минипланшет имеет рабочее поле размером  $300 \times 420$  мм, не совмещенное с экраном дисплея, на котором можно чертить специальной указкой, и поле меню специальных команд машинной графики. Сходство планшета и указки с листом бумаги и карандашом делает вполне естественным применение их для ввода графической информации.

«Микроника-297» — графопостроитель (чертежный автомат), обеспечивающий оформление чертежей в масштабе от 2 : 1 до 1 : 10 с точностью около 0,1 мм, имеет 8 пишущих элементов и выполнен в настольном исполнении с рабочим полем  $300 \times 420$  мм.

Печатающее устройство СМП-6320 использует высокопроизводительный принцип последовательно-параллельной растровой печати, позволяющий реализовать широкий набор функций в процессе вывода алфавитно-цифровой и графической информации. Обеспечивает синтезирование 96 символов в матрице  $9 \times 8$  и  $9 \times 7$  точек при скорости печати 180 и 230 строк в минуту соответственно. Вывод информации осуществляется на бумагу с краевой перфорацией шириной от 230 до 420 мм; наибольшая длина строки 132 символа.

Перфоленточная станция (например, типа СПТП-3, СМ-6204) обеспечивает ввод-вывод информации с использованием перфоленты шириной 25,4 мм. Это устройство может также выполнять контроль информации при ее считывании с уже подготовленных перфолент и реперфорацию. В частности, оно необходимо при выводе на перфоленты управляющих программ к станкам с ЧПУ.

Программное обеспечение АРМ «Автограф-840» составляют: операционная система микроЭВМ СМ-1810, тестовые и диагностические программы, средства программирования прикладных задач, программные средства «Графика-81», базовая графическая библиотека «Автограф-844», прикладные программы конструирования изделий машиностроения «Автограф-845» и прикладные программы разработки технологической документации «Автограф-846» (рис. 2.4).

Операционная система (ОС) обеспечивает диалоговый и пакетный режимы подготовки и выполнения программ. Под управлением ОС осуществляется функционирование СМ-1810 (режимы запуска и приостановки микропроцессора, обработка прерываний, индикация содержимого памяти и т. д.), доступ к периферийным устройствам и разработка всех программных модулей АРМ. Библиотеки программ на гибких магнитных дисках записывают в формате модулей исходных текстов и формате загрузочных модулей в абсолютных адресах.

Важный компонент ОС — программа «Монитор-отладчик», находящаяся в постоянной памяти модуля микропроцессора. Эта программа выполняет связь в режиме диалога между ЭВМ и пользователями, загрузку в оперативную память программ из библиотеки, приостановку выполняемых программ в контрольных точках с целью ввода отладочных директив или изменения хода алгоритма, а также предоставление в распоряжение программистов процедур обмена информацией с периферийными устройствами.

Остальные компоненты ОС (загрузчик программ, редактор текстов, программы обслуживания библиотек, трансляторы, интерпретаторы и т. д.) хранятся постоянно в системной библиотеке на гибких магнитных дисках и могут быть загружены в оперативную память вызовом из рабочих программ или по командам с периферийных устройств.

Базовое программное обеспечение «Графика-81» предоставляет возможность пользователям самостоятельно создавать системы автоматизированного проектирования из набора технических и программных средств, а также вносить изменения в системы по мере изменения требований. Языковые средства и методика согласования аппаратных и программных модулей ориентированы на пользователей-непрограммистов. «Графика-81» содержит следующие программные модули: управления процессом проектирования, управления базой данных, ввода-вывода графической информации, двух- и трехкоординатной машинной графики и вывода кодов управляющих программ к станкам с ЧПУ.

Базовая графическая библиотека «Автограф-844» предназначена для разработки прикладных графических диалоговых программ. Она позволяет вычерчивать элементарные графические образы (линии различных

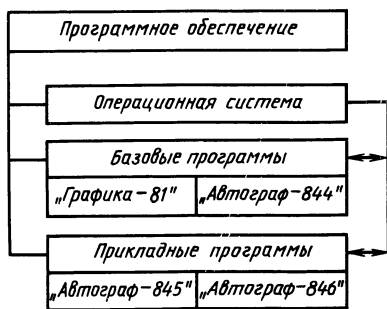


Рис. 2.4. Программные средства АРМ «Автограф-840»

типов, замкнутые и открытые ломаные линии, прямоугольники, дуги и окружности, буквы и цифры заданного размера и т. д.) и выполнять преобразования этих образов (масштабирование, поворот, перенос, аффинные преобразования). Библиотека содержит около 70 программ.

Прикладные программы «Автограф-845» обеспечивают получение машиностроительных чертежей. Выполняемые при этом в диалоговом режиме многочисленные функции можно отнести к четырем группам: функции формирования чертежей; функции управления изображениями (увеличение части чертежа, сдвиг изображения, стирание отдельных элементов, работа с библиотекой); функции нанесения размеров и функции штриховки. Выбор любой из функций производится с помощью меню команд минипланшета. Благодаря диалоговому взаимодействию и простоте языка пользования эксплуатация прикладных программ не требует специальных знаний в области программирования и легко осваивается.

Прикладные программы «Автограф-846» обеспечивают в диалоговом режиме формирование и выпуск технологических текстовых документов: карт маршрутной технологии; ведомостей оснастки; операционных карт механообработки, слесарных, сборочных и электромонтажных работ; карт технического контроля. Предусмотрена возможность формирования любого другого текстового документа; пользователю достаточно лишь описать его структуру с помощью имеющихся специальных языковых средств, после чего сведения о новом документе заносятся в информационную базу без каких-либо доработок программного обеспечения.

«Автограф-846» располагает также развитыми средствами подготовки, контроля и редактирования управляющих программ к станкам с ЧПУ.

В режиме диалога на ЭВМ возложены функции подготовки данных в форме, удобной для принятия решений. Решения принимает технолог, который действует на основании личного опыта с учетом производственной обстановки, соответствующих нормативных материалов и стандартов.

Системное, базовое и прикладное программно-математическое обеспечение АРМ допускает интеграцию (объединение) процессов разработки конструкций машиностроительных изделий, технологии их производства и управляющих программ к оборудованию ГПС, что многократно сокращает время подготовки производства.

Рассмотренные средние и микроАРМ могут функционировать не только в качестве самостоятельных (автономных) средств автоматизации проектных работ в машиностроении, но и в составе многоуровневых иерархических структур САПР. Двухуровневые САПР имеют вычислительные комплексы большой или средней мощности на верхнем уровне и сеть АРМ на нижнем уровне. Такие структуры используют в виде локальных (местных) вычислительных сетей автоматизированные конструкторско-технологические бюро (отделы) машиностроительных предприятий. В нашей стране для верхнего уровня САПР обычно применяют вычислительные комплексы ЕС ЭВМ.

Дальнейшее увеличение числа уровней в структурах САПР связано с их включением в общую систему обеспечения функционирования ГПС. При этом целесообразно широкое использование информационных банков вычислительных сетей на уровне отрасли (см. разд. 3.5).

## **Вопросы для самопроверки**

1. Какие принципы программного управления используют в ЭВМ?
2. Как организуется совместная работа процессора и внешних устройств?
3. Почему выполнение разных команд в ЭВМ занимает разное время?
4. Какие преимущества для автоматизации производства дает программная совместимость ЭВМ?
5. Как можно измерить объем информации?
6. Чем объясняется широкое применение диалогового режима работы ЭВМ?
7. Для решения каких задач автоматизации производства необходима работа ЭВМ в реальном масштабе времени?
8. Какие технические средства входят в состав АРМ?
9. Назовите основные функции, выполняемые программными средствами АРМ.
10. Почему микропроцессорная техника стала самым массовым средством автоматизации производства?

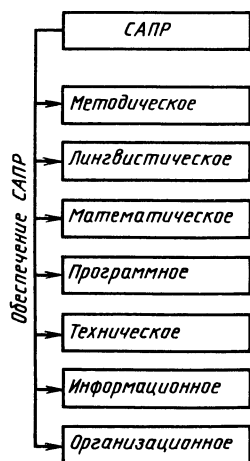


### 3.1. РАЗНОВИДНОСТИ САПР

САПР представляет собой организационно-техническую систему, состоящую из комплекса средств автоматизации проектирования, взаимосвязанного с проектировщиками и подразделениями проектной организации. Необходимо подчеркнуть, что проектировщик (конструктор, технолог) одновременно входит в состав любой САПР и является ее пользователем, так как без человека автоматизированная система функционировать не может. Объектом автоматизации в САПР являются действия проектировщиков, разрабатывающих изделия или технологические процессы. САПР нельзя создать вне конкретного производства, на котором она будет использоваться.

Для основных этапов проектирования изделий и технологии их изготовления можно выделить следующие характерные процессы обработки информации: поиск и выбор из различных источников нужной информации; анализ этой информации; выполнение проектных, проверочных и экономических расчетов; принятие проектных решений; оформление результатов проектирования в виде конструкторской, технологической и эксплуатационной документации. Автоматизация этих процессов обработки информации составляет сущность функционирования САПР.

Для организации САПР необходимы семь обязательных компонентов (рис. 3.1).



Методическое обеспечение содержит описание САПР, данные о составе комплекса средств и порядке их эксплуатации. Документы методического обеспечения имеют инструктивный характер. Совершенствование организации работ в области автоматизации проектирования направлено на создание типовых программно-методических комплектов в целях их широкого тиражирования. Такие комплекты включают наряду с программами для ЭВМ и информационными базами данных типовые наборы документации (например, описания баз данных, инструкции по их заполнению).

Лингвистическое обеспечение — совокупность специальных языковых средств (язы-

Рис. 3.1. Состав САПР

ков) проектирования, предназначенных для общения человека с техническими и программными компонентами САПР. Практика использования ЭВМ в проектировании привела к созданию наряду с универсальными алгоритмическими языками программирования (АЛГОЛ, ФОРТРАН и др.) проблемно-ориентированных алгоритмических языков, специализированных для проектных задач. Например, для автоматизации вычерчивания изображений служат графические языки ГП-ЕС, ГРАФОР, РЕДГРАФ, ФАП-КФ.

Математическое обеспечение составляют математические методы, модели и алгоритмы, необходимые для осуществления автоматизированного проектирования.

Программное обеспечение является непосредственным производным компонентом от математического обеспечения и представляет собой комплекс всех программ и эксплуатационной документации к ним.

Техническое обеспечение — комплекс всех технических средств, используемых при автоматизированном проектировании и для поддержания средств автоматизации в работоспособном состоянии.

Информационное обеспечение — это информация о прототипах проектируемых изделий или процессов, комплектующих изделиях и материалах, об используемом режущем инструменте, о правилах и нормах проектирования, а также любая другая справочная информация, используемая проектировщиками для выработки проектных решений. Основная часть информационного обеспечения содержится в банках данных, состоящих из баз данных и систем управления базами данных.

Организационное обеспечение устанавливает взаимодействие всех проектирующих и обслуживающих подразделений, ответственность специалистов за определенные виды работ, приоритеты пользования средствами САПР и другие регламенты организационного характера. Соответствующий комплект документов составляет необходимые инструкции, приказы и штатные расписания.

Разновидности названных компонентов определяют большое разнообразие САПР по назначению, функциональным возможностям и составу применяемых средств автоматизации. Для обоснованного планирования разработок и использования САПР в промышленности, оценки их научно-технического уровня, обеспечения типизации и унификации компонентов необходима единая классификация САПР по основным признакам. Действующие в области автоматизированного проектирования стандарты устанавливают следующие классификационные признаки:

тип объекта проектирования (САПР изделий машино- и приборостроения, САПР технологических процессов в машино- и приборостроении, САПР объектов строительства, САПР организационных систем, САПР гибких производственных систем);

разновидность объекта проектирования (агрегатные станки, шпиндельные коробки, гидроприводы, специальные подшипники качения, гидростатические опоры, зажимные приспособления станков, механические конструкции радиоэлектронной аппаратуры, корпуса судов, кузова автомобилей, фотошаблоны печатных плат и другие объекты);

сложность объекта проектирования, определяемая количеством со-

ставных частей (простые, средней сложности, сложные и очень сложные объекты с числом составных частей до  $10^6$  и более);

уровень автоматизации проектирования, характеризующийся количеством (процентом) автоматизированных проектных процедур;

комплексность автоматизации проектирования (одноэтапные, многоэтапные и комплексные САПР);

характер выпускаемых проектных документов (текстовые и графические документы на бумаге, перфолентах, магнитных дисках, микрофильмах, микрофишах, фотошаблонах и т. д.);

число выпускаемых проектных документов в год (САПР малой производительности выпускают до  $10^5$ , средней производительности от  $10^5$  до  $10^6$  и высокой производительности свыше  $10^6$  проектных документов в год);

число уровней в структуре технического обеспечения (одноуровневые, двухуровневые и трехуровневые САПР).

Решающими условиями возможности и целесообразности создания САПР являются: единство принципов построения объектов проектирования; высокий уровень типизации и стандартизации элементов, из которых komponуют объекты проектирования; высокий уровень унификации процессов проектирования; большой объем проектных работ при индивидуальных требованиях к объектам проектирования.

### 3.2. ЯЗЫКОВЫЕ СРЕДСТВА САПР

Понятие «языковое средство» обозначает любую систему символов или знаков для обмена информацией и общения. Если еще недавно под общением подразумевалась только передача информации от человека к человеку, то с появлением ЭВМ возникла проблема общения человека в процессе интеллектуальной деятельности с вычислительными машинами. Появились языки общения человека и ЭВМ.

В первую очередь общение требовалось для задания в ЭВМ алгоритмов решения различных задач вычислительного характера, ввода в ЭВМ исходных данных и получения от ЭВМ результатов решения. Были изобретены соответствующие языковые средства — алгоритмические языки, представляющие собой набор специальных символов и формальных правил, однозначно определяющих содержание и последовательность всех этапов выполняемых алгоритмов.

Развитыми алгоритмическими языками обладает операционная система ЕС ЭВМ. Алгоритмические языки БАЗИСНЫЙ ФОРТРАН и ФОРТРАН IV предназначены для решения научно-технических задач, в которых преобладают математические вычисления. КОБОЛ — процедурно-ориентированный алгоритмический язык программирования экономических задач, которые обычно включают обработку файлов большого объема (задачи статистики, учета и планирования). Проблемно-ориентированный язык РПГ предназначен для решения задач обработки данных, основное содержание которых составляет формирование, обработка и печать разнообразных массивов информации. Универсальный алгоритмический язык программирования ПЛ/1 в одинаковой степени удобен

как для инженерных и научных задач, так и для различного рода экономических задач; кроме того, он позволяет создавать новые системы программирования.

Использование ЭВМ для решения вычислительных задач и автоматизации проектирования существенно различается. Чтобы основные задачи проектирования приняли чисто вычислительный характер, их нужно сформулировать математически. Другими словами, при автоматизации проектирования необходимо создавать математические модели задач и алгоритмы управления моделями. Именно с этим связано появление специализированных алгоритмических языков, ориентированных на определенные объекты проектирования и проектные процедуры. Они обеспечивают описание объектов проектирования, синтез и преобразование математических моделей объектов, общение пользователей с ЭВМ при решении проектных задач, а также ввод-вывод всей необходимой при проектировании графической и текстовой информации.

К языковым средствам проектирования предъявляют следующие требования.

1. Язык должен содержать такой набор лингвистических и программных средств, который обеспечивал бы решение задач, относящихся к проблемной области языка. Набор программных модулей, реализующих все базовые функции, называется библиотекой базовых функций языка.

2. Должна быть обеспечена возможность развития языка по горизонтали и вертикали. Развитие по горизонтали означает расширение функциональных возможностей языка за счет введения новых базовых функций, описываемых терминами языка. Развитие по вертикали связано с переходом к более высокому уровню организации языка за счет объединения директив в более общие терминальные символы (в символы режима «меню»).

3. Язык должен использовать аббревиатуру терминальных символов и символов-синонимов.

4. Должны быть предусмотрены средства автоматического выявления синтаксических ошибок и их отображения, а также контроль правильности выполнения директив. Язык должен быть легко осваиваемым и включать обучающие программы, которые могут информировать пользователя о его неправильных действиях и рекомендовать правильные.

5. Должна быть возможна работа с языком в пакетном и диалоговом режимах.

Набор терминальных символов любого специализированного языка проектирования обеспечивает представление в ЭВМ алгоритмов решения проектных задач (эти символы обычно близки к символам традиционного языка проектировщиков).

Интерпретатор языка состоит из многих подпрограмм. Он работает в процессе выполнения рабочих программ (алгоритмов) решения проектных задач. Каждая строка рабочей программы на языке проектирования преобразуется в машинные команды непосредственно перед ее выполнением. Анализируя содержимое строки, интерпретатор расчленяет ее на части, которые преобразуются в машинные команды с помощью отдельных подпрограмм. После преобразования в машинный код

строка рабочей программы выполняется. По завершении обработки одной строки рабочей программы интерпретатор начинает подобный процесс преобразования другой строки.

Кроме организации ввода директив языка, их синтаксического разбора и контроля, интерпретатор реализует обращения к библиотеке базовых функций, формирует диагностические сообщения при обнаружении синтаксических и семантических (смысловых) ошибок, выводит по запросам пользователей обучающую информацию, обеспечивает обращение к программным модулям организации режима «меню».

Синтаксический анализ предусматривает разбор словарного состава текста рабочих программ пользователей в символах языка и проверку синтаксической правильности директив.

Семантику конкретного языка реализует библиотека базовых функций, которая состоит из двух частей: общесистемной и прикладной. Общесистемная часть объединяет программы, не зависящие от специфики конкретного языка (например, программы доступа к базе данных). Прикладная часть определяет проблемную ориентацию языка.

Автоматизированные рабочие места оснащают всеми необходимыми языковыми средствами САПР, т. е. набором как обычных алгоритмических языков программирования, так и набором специализированных языков проектирования, машинной графики, информационно-поисковых систем, подготовки управляющих программ к станкам с ЧПУ. При решении проектных задач пользователь формирует на экране дисплея запросы на соответствующие языки и указывает нужные режимы работы.

При работе в пакетном режиме на пользователя возложена функция ввода в ЭВМ исходной информации и описания задачи, подлежащей решению. В этом случае ввод данных производится путем заполнения выдаваемого системой макета. Текст запроса может быть заготовлен на перфокартах, магнитных лентах и других носителях.

При работе в диалоговом режиме пользователь вводит в систему описание глобальной (обобщенной) проектной задачи, задает требования к решению, определяет, какие алгоритмы используются на отдельных этапах решения. В режиме меню пользователь, получив ответ на директиву, выбирает одно из предлагаемых ему системой дальнейших действий. Способ и форма описания функций как элементов меню определяется видом решаемых задач и возможностями применяемых технических средств.

Диалоговый режим не только создает удобство эксплуатации САПР, но и позволяет обучать пользователя работе с системой. ЭВМ, работающая в режиме диалога, сообщает по требованию пользователя список решаемых задач, варианты их решения, а также имеет возможность шаг за шагом согласовывать с пользователем всю необходимую для решения информацию.

В большинстве случаев языки проектирования строят так, что описание любой задачи и задание на ее решение содержат в основном оригинальные термины. Переход от этих терминов к программам для ЭВМ реализуется автоматически через программные средства интерпретатора. В разд. 3.4 рассмотрен пример такого языка РЕДГРАФ.

В некоторых случаях язык проектирования соединяет в себе средства универсального алгоритмического языка высокого уровня для решения вычислительных задач и специальные языковые средства. Тогда перевод описания алгоритма решения проектной задачи с языка проектирования на язык, воспринимаемый ЭВМ, осуществляет транслятор алгоритмического языка, дополненный необходимыми специальными программами.

Например, геометрически ориентированный алгоритмический язык ФАП-КФ (формализованный аппарат геометрического моделирования на основе компилятора с языка ФОРТРАН) используется при разработке программ решения различных геометрических задач САПР и при графическом контроле управляющих программ к станкам с ЧПУ. Этот язык содержит около 200 геометрических операторов для определения геометрических объектов и для осуществления манипуляций с ними (переноса, вращения, объединения, вычисления площадей, моментов инерции, построения эквидистантных кривых, линий пересечения поверхностей, сечений и т. д.). Геометрические операторы ФАП-КФ представляют собой синтаксически правильные конструкции языка ФОРТРАН.

Возможности языков проектирования имеют исключительно важное значение в автоматизированном проектировании, так как не только влияют на уровень автоматизации и производительность САПР, но и определяют сложность и привлекательность работы с техническими средствами САПР. Следовательно, вопросам применения, а при необходимости и разработке качественных языков проектирования всегда следует уделять особое внимание.

В отечественной практике существуют специальные методики и программные средства, значительно сокращающие трудоемкость создания новых языков проектирования. В частности, при разработке языков может использоваться метасистема (переходная система), позволяющая на основании составленной формальной грамматики получать соответствующий синтаксический интерпретатор.

### **3.3. СОСТАВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Программное обеспечение — это основной и по значимости, и по трудоемкости объект разработки при создании САПР. Состав программного обеспечения САПР, требования к его разработке и эксплуатационной документации стандартизованы.

Программное обеспечение САПР подразделяется на общесистемное и специализированное. Оно состоит из программ и документации к ним для всех технических средств, используемых в конкретной САПР. В отличие от технических средств, которые являются универсальным инструментом, программное обеспечение и прежде всего его специализированная часть отражают специфику различных САПР.

С развитием ЭВМ возрастает значимость важнейшего компонента общесистемного программного обеспечения — операционных систем ЭВМ. Возможности, предоставляемые пользователям современными техническими средствами САПР, уже в большей степени определяются их операционными системами, чем аппаратными устройствами.

Операционные системы управляют ходом выполнения рабочих программ и использованием всех ресурсов технических средств. Их важнейшие функции в САПР связаны с организацией: работы пользователей в различных режимах, одновременного решения различных задач, динамического распределения каналов передачи данных и внешних терминалов между задачами, динамического распределения памяти, планирования последовательности решения задач с учетом установленных приоритетов, контроля и диагностики работы технических средств.

Операционные системы непрерывно совершенствуются. Для новых поколений ЭВМ создаются новые операционные системы все с более широкими функциональными возможностями и с более естественным диалогом пользователей и ЭВМ. Причем операционные системы, как правило, предназначены для семейства однотипных ЭВМ, их можно генерировать (подбирать состав и структуру составляющих программ) применительно к определенной архитектуре технических средств САПР и кругу решаемых задач.

Успешно разрабатываются проблемно-ориентированные операционные системы, опыт применения которых показывает, что они требуют в 2—3 раза меньших объемов памяти ЭВМ при одновременном увеличении предоставляемых пользователям услуг.

Другим важным компонентом общесистемного программного обеспечения САПР является базовое программное обеспечение. В его состав входят: базовое программное обеспечение обработки геометрической и графической информации; базовое программное обеспечение для формирования и использования баз данных.

Специализированное программное обеспечение САПР разрабатывают на основе операционных систем и базовых программ. Оно состоит из прикладных программ, основной функцией которых является получение конкретных проектных решений на всех этапах автоматизированного проектирования.

С расширением областей применения и функциональных возможностей САПР возрастают сложность и трудоемкость разработки прикладных программ. Специальные методы совершенствования программирования получили название технологии программирования. В последние годы нашли широкое применение следующие четыре технологии.

Модульное программирование предусматривает разделение разрабатываемой программы на некоторое количество функционально самостоятельных модулей. Такое представление программы облегчает ее отладку и удобно при появлении необходимости модернизации (изменения) программного обеспечения, так как эта модернизация чаще всего может быть сведена к изменению лишь части модулей (а не всей обычно сложной программы).

Структурное программирование основано на применении ограниченного числа вариантов структур построения программ. Такие программы имеют более четкую древовидную архитектуру, легче читаются и модифицируются. Облегчается проверка правильности формирования программ и всего программного обеспечения, сокращается время их отладки.

Программирование «сверху вниз» использует методику многоуровневого написания программы. В отличие от обычного программирования по схеме алгоритма каждый уровень оформляется как законченная программа и может быть отложен до окончательной разработки всего алгоритма. На верхнем уровне формируется исходный алгоритм в виде вычислительной схемы, элементы которой описываются на естественном для данной проблемы языке. Далее выполняется написание и отладка программы для элементов каждого уровня сверху вниз. Каждый последующий уровень отлаживается на тестах, полученных на предыдущем уровне. Такая технология программирования сокращает общую продолжительность решения задачи за счет выполнения работ по программированию параллельно с разработкой алгоритма; возможна по ходу работ и более гибкая корректировка алгоритма.

Программирование на основе специальных диаграмм также использует многоуровневое составление и документирование программного обеспечения. Однако эта методика облегчает работу программистов вспомогательными диаграммами, содержащими процедуры обработки информации, правила сборки отдельных элементов программ и правила оформления документации на программное обеспечение.

Рис. 3.2 иллюстрирует **технологический цикл** (основные этапы) созда-

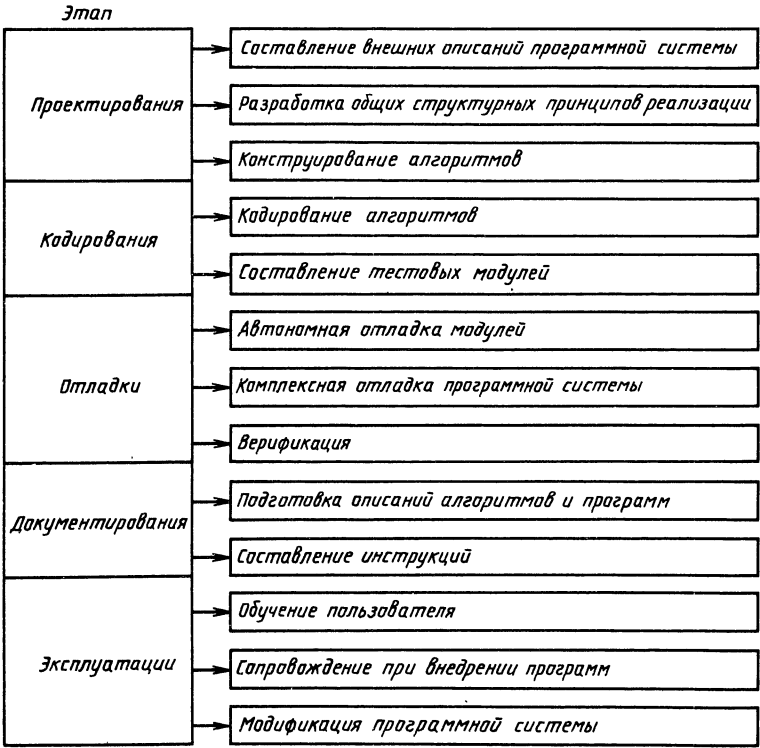


Рис. 3.2. Этапы разработки специализированного программного обеспечения



ния специализированного программного обеспечения (программной системы) при модульном программировании.

Этап *составления внешних описаний* разрабатываемой программной системы определяет ее архитектуру. Основным принципом разработки внешних описаний является иерархическая организация структуры описаний, обычно состоящая из трех уровней: общего внешнего описания программной системы, описания компонентов системы и описания отдельных функций каждого компонента.

Разработка внешних описаний осуществляется средствами естественного (в частности, русского) языка. Задачи, которые приходится решать при составлении описаний, заключаются в определении состава требований к внешним (по отношению к создаваемым программам) элементам САПР и в выборе семантики передаваемых сообщений. Каждый из уровней описания представляет собой полное описание всей программной системы, но с разной степенью детализации.

На уровне общего описания программной системы указываются общее назначение системы, особенности аппаратных средств и особенности организации САПР. Программную систему следует рассматривать как совокупность компонентов, которые, в свою очередь, можно представить в качестве отдельных систем. В то же время программная система в целом может являться частью более крупного образования (например, создаваемая САПР может входить в систему обеспечения функционирования ГПС).

На уровне описания компонентов программной системы производится детализация функций, которые должен выполнять каждый компонент, уточняются взаимосвязи функций. Разбивать систему на компоненты необходимо с учетом следующих требований: число компонентов должно быть небольшим; каждый компонент следует выбирать по возможности простым; количество ссылок должно быть минимальным.

Описания отдельных функций каждого компонента системы выполняются на самом низком уровне абстракции. Эти описания выделяют, что является входной информацией для каждой из функций, детально представляют действия, производимые над входной информацией. В результате программист получает полное представление о том, что происходит в программной системе и что она может делать.

На этапе *разработки структурных принципов реализации* программной системы рассматриваются вопросы ее внутренней организации. Модулем называют любой структурный объект, входящий в состав системы; тогда программную систему можно представить совокупностью взаимосвязанных программных (алгоритмических) модулей. Каждый модуль должен быть функционально самостоятельным в том смысле, что изменения в одном модуле не должны вызывать необходимость каких-либо изменений в других модулях.

Чтобы программные модули можно было объединить в систему, необходимо однозначно определить реализуемые ими функции и точки, через которые они взаимодействуют друг с другом. В таких точках разрабатываются протоколы взаимодействия модулей, т. е. совокупность правил взаимодействия.

После завершения этапа разработки внутренней структуры (этот этап согласно стандарту соответствует разработке *эскизного проекта*) программная система представлена в виде взаимодействующих модулей с четко разграниченными функциями, определенным составом и характером использования информационных и синхронизирующих связей. Дальнейшая работа по созданию специализированного программного обеспечения САПР проводится в основном помодульно.

*Конструирование алгоритмов* целесообразно начинать с просмотра библиотеки готовых программных модулей, чтобы отыскать подходящие для конкретного использования. Если же таких не имеется, то обращаются к известным алгоритмическим решениям. И лишь при отсутствии нужных алгоритмических решений приступают к конструированию оригинальных алгоритмов.

В ходе работ на рассматриваемом этапе, который соответствует разработке *технического проекта*, необходимо принять решения по составу и особенностям организации локальных структур данных. В этих решениях обычно неявно отражается архитектура аппаратных средств, на которых реализуется разрабатываемая программная система. Однако на этапе конструирования алгоритмов не следует осуществлять согласование программной системы с аппаратными средствами. Более того, нужно стремиться конструировать аппаратно независимые алгоритмы, чтобы в системе алгоритмических модулей логическая организация была отделена от физической. Это обуславливает гибкость создаваемой программной системы, приспособляемость ее к развивающейся технической базе и работоспособность системы в течение более длительного периода времени.

Особо важно при анализе корректности (правильности, отсутствия логических ошибок) алгоритмов эффективное диагностирование, позволяющее оперативно следить за ходом выполнения алгоритмов и быстро осуществлять процесс отладки. Сложные программные системы нуждаются в формальных средствах анализа корректности алгоритмов по соответствующим моделям. Существуют различные формальные методы проверки корректности, реализуемые вручную или на ЭВМ.

На этапе *кодирования алгоритмов* прежде всего должны быть решены вопросы, касающиеся принципов осуществления синхронизации и использования необходимых аппаратных и программных (операционных систем, базового программного обеспечения) средств, а также вопросы распределения ресурсов процессорного времени, всех видов памяти, внешних устройств и глобальных информационных структур. Значительное повышение производительности труда программистов обеспечивает рациональный выбор инструментальных средств программирования: систем программирования и вычислительных комплексов (см. разд. 3.2).

Основными критериями качества разрабатываемых программ являются быстроедействие, компактность, обозримость, самовосстанавливаемость, пригодность для построения на их основе родственных программных модулей. Требование компактности заключается в минимизации ресурса памяти. Повышению обозримости программ способствуют выразительные мнемонические обозначения переменных, констант, меток, процедур, четко составленный и лаконичный комментарий, выделение в тексте

программ блоков с заголовками, подблоков и абзацев. Хорошо приспособлены к модификациям программы, построенные в соответствии с принципами структурного программирования и свободные от запутанной логики передачи управления.

К началу этапа отладки программной системы должен быть готов одновременно с разрабатываемыми модулями комплект программ и информационных массивов для *тестирования модулей*. Состав тестов в сочетании с эффективной диагностикой дает ответ на вопрос: в какой степени можно рассчитывать на корректность разработанных программ? Тесты обычно представляют собой примеры, иллюстрирующие способы использования программных модулей.

Тесты необходимо разрабатывать также последовательно и тщательно, сопровождать столь же полным и качественным комплектом документации, установленным стандартами, как и сами тестируемые модули. Недооценка этого обстоятельства приводит к увеличению продолжительности этапа отладки системы, а для сложных систем — к значительному снижению надежности системы.

В ходе *отладки* программных модулей и версий (вариантов) программных систем фиксируются ошибки и нерациональные конструктивные решения, имеющиеся в листингах программ, а также назначаются способы их устранения. Это — ответственный и трудоемкий этап создания специализированного программного обеспечения САПР. Кодирование и отладка программ, завершающиеся составлением окончательных редакций всех листингов и документов к ним, соответствует разработке *рабочего проекта*.

Порядок автономной отладки программных модулей, последовательность использования тестов, порядок агрегатирования (объединения и соединения) модулей, критерии завершения промежуточных этапов отладки, методика комплексной отладки версий всей программной системы, выбор и применение инструментальных средств отладки, внесение изменений в программы, верификация (экспериментальная проверка) — вот перечень основных вопросов, решаемых на этапе отладки.

Этап *документирования* предусматривает составление полного комплекта окончательных версий программ и эксплуатационных документов для сдачи в фонды (библиотеки) готовых программ. Итогом этой работы являются готовые к использованию программы, снабженные всей документацией, которая необходима для их эксплуатации и сопровождения. Полный объем документации содержит: внешнее описание и спецификации внешних ссылок; спецификации компонентов программной системы и отдельных функций; инструкции для пакета управления, файлов и тестов; описание конфигурации ЭВМ; протоколы отладки. Обычно документация ориентирована на конкретный круг пользователей.

*Эксплуатацию* программной системы пользователь начинает с изучения ее описаний и инструкций. Если от обучающегося требуется выполнение работ по модификации программной системы, то необходима более подробная документация с записью всех алгоритмов.

В условиях все более расширяющегося фронта работ в области интегрированной автоматизации и, в частности, в области создания САПР

изделий и технологии машиностроения особенно важную роль приобретает сопровождение программной системы при эксплуатации, которое связано с проведением систематизации учета, хранения, дублирования и модификаций элементов программного обеспечения (программных модулей, версий программных систем, комплектов тестов, эксплуатационных документов). Кроме того, необходима систематизация учета сведений по использованию отдельных модулей в различных версиях систем, применению версий систем в разных целях и особенностям эксплуатации программ. Развита библиотека элементов программного обеспечения, созданного в условиях единой технологии программирования, позволяет сократить трудоемкость разработки новых версий систем за счет использования решений из прежних разработок.

### 3.4. МАШИННАЯ ГРАФИКА

В настоящее время сформировалась новая ветвь прикладной математики — **м а ш и н н а я г р а ф и к а**, которая занимается вводом в ЭВМ исходных данных, первоначально представленных в графическом виде, обработкой на ЭВМ графической информации и выводом из нее графических изображений. Хотя графическая форма как наиболее емкое и наглядное представление различной информации давно известна, особый интерес к машинной графике стал проявляться в связи с развитием автоматизированного проектирования.

Обработка графической информации наиболее эффективна в диалоговом (интерактивном) режиме, при котором графическая система обеспечивает возможность взаимодействия пользователей с ЭВМ с помощью изображений. **И н т е р а к т и в н а я** машинная графика использует для диалога графические дисплеи и графические планшеты. Для формирования изображений используют также цифровые электромеханические чертежные автоматы (графопостроители), устройства с выводом изображений на микрофиши и микрофильмы, растровые электрохимические и электротермические чертежные устройства, которые выдают «твердую копию» изображений. Эти устройства удобны как сами по себе, так и в качестве дополнения к дисплеям. Однако с их помощью изображения получаются так медленно, что практически их нельзя использовать для организации диалога.

Машиностроительные чертежи относят к разновидности графической информации высокой степени сложности, что обусловлено наличием смысловой взаимосвязи изображений, разнообразных условных обозначений, символов и текстов, устанавливаемых ЕСКД и ЕСТД. Поэтому наряду с вводом в ЭВМ графической информации с помощью специализированных языков актуальной является проблема создания автоматических устройств графического ввода, которые преобразуют в цифровой код ЭВМ начертания линий и символов, нанесенных на бумагу, кальку, фотопленку или другой носитель.

Многие конструкции автоматических устройств графического ввода можно разделить по принципу действия на сканирующие и следящие. В сканирующих устройствах поле чертежа просматривается построчно с

помощью развертывающих систем. Следящие устройства отслеживают линии чертежа, прогнозируя возможное продолжение и производя поиск ближайших точек линии.

Разработаны соответствующие алгоритмы распознавания линий, символов и синтеза целостного геометрического образа объекта, заданного чертежом.

Широкое распространение получили устройства полуавтоматического ввода графической информации. Общим для них является принцип распределения функций между оператором и ЭВМ. Оператор анализирует чертеж, выделяет конструктивные элементы, подлежащие кодированию, устанавливает рабочий орган устройства графического ввода в определенные точки чертежа, после чего по его команде автоматически вычисляются координаты точек и представляются в цифровом коде ЭВМ. Для многих проектных задач в станкостроении, судостроении, автомобильной, авиационной и других отраслях машиностроения этих исходных данных достаточно при выполнении на ЭВМ инженерных расчетов и автоматизированного проектирования.

Машинную графику следует рассматривать как обслуживающую подсистему САПР, состоящую из методического, лингвистического, математического, программного, информационного и организационного обеспечения. В общем случае в подсистеме машинной графики можно выделить четыре уровня.

Первый уровень обеспечивает формирование и вывод изображений на конкретные терминальные графические устройства (графические дисплеи, чертежные автоматы и т. д.) с использованием графических языков или набора команд терминальных устройств. Для формирования изображений создают универсальные базовые программы, которые позволяют получать любые изображения, состоящие из отрезков прямых, дуг окружностей, спиралей, эллипсов, букв, цифр и специальных символов, т. е. из элементарных графических образов (графических примитивов). Для графических дисплеев с помощью этого программного обеспечения осуществляется также диалог пользователей с ЭВМ.

Второй уровень реализует общие процедуры графического ввода-вывода, не зависящие от проблемной ориентации и применяемых терминальных графических устройств. Этот уровень представлен базовыми программами, обеспечивающими генерирование графических примитивов, выполнение преобразований над ними и редактирование изображений.

Третий уровень составляют языки описания типовых изображений и функций для данной проблемной ориентации (выпуск чертежей механических узлов машин, кинематических схем, электрических принципиальных и монтажных схем, построение динамических характеристик, обработка результатов экспериментов и т. д.), а также математические методы, алгоритмы и программы решения геометрических задач проблемной ориентации. Это — проблемно-ориентированный уровень машинной графики, реализуемый в виде модулей базового программного обеспечения: координатного расчета чертежа, анализа взаимного расположения геометрических объектов, вычисления геометрических параметров, по-

строения обводов (сплайн-функций), выполнения аппроксимации кривых и поверхностей и т. д.

Четвертый уровень выполняет функции связи программ предыдущих уровней машинной графики с другими подсистемами САПР и ГПС.

Развитая машинная графика функционирует в составе ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ и микроЭВМ, а также в составе систем ЧПУ станочным оборудованием. В качестве типичных представителей отечественных систем машинной графики можно назвать графический пакет ГП-ЕС и интерактивный графический редактор РЕДГРАФ. С помощью подобных систем можно обрабатывать графическую информацию во всех режимах работы современных САПР самого различного назначения, используя как чертежные автоматы планшетного (например, ЕС 7051, ЕС 7054) и рулонного (ЕС 7052, ЕС 7053) типов, так и графические дисплеи (например, ЕС 7064).

Для графических дисплеев характерна универсальность, т. е. они позволяют выводить на экран не только графическую, но и символьную (алфавитно-цифровую) информацию. В их состав входят индикаторное устройство на электронно-лучевой трубке с набором функциональных генераторов, устройство управления (дисплейный процессор) с памятью, устройство связи с ЭВМ, средства ввода и редактирования информации (рис. 3.3).

Различные типы графических дисплеев можно сравнить по следующим техническим характеристикам: размерам рабочей области экрана, на которой формируются изображения; разрешающей способности — числу независимо адресуемых точек по горизонтальной и вертикальной осям координат; информационной емкости экрана; частоте регенерации изображений; набору и параметрам функциональных генераторов; типу дисплейного процессора; емкости буферного запоминающего устройства; системе команд и формату обрабатываемой информации.

Графический дисплей ЕС 7064 обеспечивает ввод-вывод графической и алфавитно-цифровой информации. Изображение на экране электронно-лучевой трубки строится по точкам. Рабочая область экрана размером  $25 \times 25$  см определяется матрицей  $1024 \times 1024$  адресуемых точек. Каждая

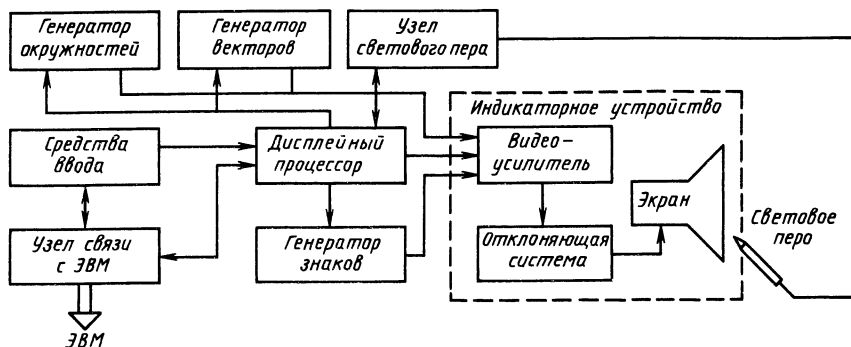


Рис. 3.3. Структурная схема графического дисплея

точка на экране задается двумя координатами  $X$ ,  $Y$ . Координаты электронного луча, вызывающего свечение точки на экране, фиксируются двумя регистрами соответственно для координат  $X$  и  $Y$ . Изображение формируется благодаря перемещению луча по экрану при изменении значений координат точек в регистрах.

Элементы изображения воспроизводятся генератором векторов и генератором знаков. Первый позволяет генерировать на экране точки и векторы любой длины и направления. Получение точек связано с выключением луча на время его перемещения из одной точки в другую. Генератор знаков позволяет вычерчивать из стандартного набора буквы, цифры и специальные символы основного и увеличенного размеров.

Так как изображение на экране быстро затухает, его необходимо регенерировать. Оптимальная частота регенерации составляет 50 Гц. В больших программах, формирующих сложные изображения, время выполнения программ возрастает, что увеличивает время цикла регенерации и снижает ее частоту.

Для управления изображением программы, составленные из команд дисплея, формируются сначала в оперативной памяти ЭВМ, а затем пересылаются в дисплейную буферную память. Эти программы обрабатываются автономно с частотой регенерации изображения. В набор команд дисплея входят команды, обеспечивающие генерацию графических элементов и символов на экране, сбор информации с диалоговых средств дисплея и обмен информацией с ЭВМ.

Дисплей связан с ЭВМ через систему прерываний от светового пера, алфавитно-цифровую и функциональную клавиатуру. Взаимодействие осуществляется через блок сопряжения с каналом ЭВМ. Отдельные программы канала обеспечивают двусторонний обмен данными между буферной памятью дисплея и оперативной памятью ЭВМ, использование средств управления курсором для редактирования текстовой информации, считывание номера нажатой функциональной клавиши и считывание информации о положении на экране светового пера, позволяющего выделять мерцанием (с частотой 12,5 Гц) указываемый элемент изображения. Световое перо может указывать любую точку на экране, что вызывает сигнал внимания. Программная обработка этого сигнала позволяет выполнять различные операции машинной графики: вычерчивание линий, стирание изображений, их перемещение на экране, поворот и т. д.

Рассмотрим пакет графических программ РЕДГРАФ, осуществляющий формирование, отображение и редактирование графической информации. Пакет программ функционирует под управлением операционной системы РАФОС.

Графические объекты можно составить из дискретного множества примитивов, т. е. элементарных графических образов. К примитивам относят: отрезок прямой, окружность, дугу окружности, текст, маркер. Примитив характеризуется совокупностью числовых параметров и графических атрибутов, определяющих положение, размер, ориентацию и способ изображения элемента на чертеже. Позиционные параметры примитива привязаны к фиксированной для каждого чертежа декартовой системе координат.

Фрагмент как разновидность блока связан с функционированием архива чертежей. Любой чертеж можно поместить в архив и вызвать в качестве фрагмента на новом чертеже.

[illegible]

При вводе позиционных и линейных параметров на чертеже устанавливается локальная система координат, которая характеризуется масштабом и начальной точкой. Конструктор может изменять параметры локальной системы, выбирая наиболее удобные значения для каждого этапа работы. С помощью специального переключателя отсчета он может на время перейти в абсолютную систему координат, а затем вернуться обратно в локальную, не меняя ее масштаба и начальной точки. Такой переход нужен, например, для того, чтобы задать в абсолютных единицах чертежа размеры символов текста или расстояние между линиями штриховки.

Построение и редактирование чертежа в диалоговом режиме выполняется при помощи графического языка. Команды вводятся с кодировочного планшета, имеющего специальное меню. Введенная команда интерпретируется диалоговым монитором. Меню команд состоит из полей, разделенных на клетки — функциональные кнопки; кнопки и соответствующие им команды обозначают позиционным кодом вида



NMM, где N — номер поля, MM — номер кнопки внутри поля. Чтобы выбрать команду, нужно поместить датчик планшета в соответствующую клетку и нажать кнопку на головке датчика. Прием команды подтверждается выдачей ее кода на дисплей.

На экране графического дисплея можно отображать чертежи стандартных форматов только в уменьшенном виде. При этом изображения мелких деталей сливаются и становятся неразличимыми. Решает проблему введение «окон», позволяющее рассматривать чертежи любых размеров по частям. Окно — это прямоугольная область чертежного листа, которая отображается на экран дисплея. Конструктор может установить окно любого размера в любом месте чертежного листа. Если окно больше экрана, то элементы чертежа видны в уменьшенном масштабе; если же окно меньше или равно экрану, то графические элементы можно рассматривать в натуральную величину или даже с увеличением.

Ниже приведены команды графического языка РЕДГРАФ.

**Команда «Стереть элемент»** стирает с чертежа элемент *S1*, который может быть любым собственным элементом как переднего, так и заднего плана, в том числе и внутренним элементом группы. Если *S1* является единственным элементом в группе, то группа тоже стирается; этот процесс распространяется на охватывающие группы вплоть до уровня сегментов. Другими словами, группа существует на чертеже только в тех случаях, пока внутри нее есть хотя бы один примитив. При реализации команды из памяти удаляются все ссылки на *S1* и его внутренние элементы.

**Команда «Извлечь сегмент»** переносит сегмент, содержащий элемент *S1*, с заднего плана на передний; при этом сегмент становится текущим элементом, а из памяти удаляются все ссылки на сегмент и его внутренние элементы. С помощью этой команды можно собирать элементы для объединения в группу аффинных преобразований и др. операций. При массовом удалении сегментов чертежа целесообразно сначала их перенести на передний план, а затем очистить передний план соответствующей командой. В этом случае обеспечивается надежный визуальный контроль и повышается сохранность графической информации.

**Команда «Построить копию элемента»** позволяет к переднему плану присоединить сегмент, содержащий копию элемента заднего плана *S1*; при этом *S1* может быть примитивом или блоком (как собственным, так и заимствованным). Построенный элемент становится текущим элементом, а его конечная точка становится текущей точкой.

**Команда «Параллельный перенос»** задает вектор переноса. По этой команде графические элементы переднего плана сдвигаются на вектор. Если выполнить эту команду многократно, чередуя ее с командой размножения, то на заднем плане получится линейная матрица фигур, вычерченных на переднем плане.

**Команда «Поворот»** осуществляет поворот переднего плана вокруг точки *S1*. Чередуя эту команду с командой размножения, можно получить на заднем плане радиальную матрицу фигур переднего плана.

При команде «Очистить лист» с чертежа стираются все графические элементы.

**Команда «Очистить передний план»** стирает все графические элементы переднего плана.

**Команда «Очистить задний план»** стирает все графические элементы заднего плана.

При команде **«Обменять планы»** передний план становится задним, а задний план становится передним. Команда не выполняется, если на переднем плане есть хоть один элемент, выходящий за границы листа.

**Команда «Сохранить передний план»** переносит все графические элементы переднего плана на задний план, а передний план очищается.

**Команда «Размножить передний план»** выполняет копирование на заднем плане всех графических элементов переднего плана при сохранении без изменений информации переднего плана.

**Команда «Образовать группу»** образует группу на заднем плане из графических элементов переднего плана, а передний план очищается. Группа становится текущим элементом, а текущая точка приписывается группе в качестве конечной точки.

**Команда «Указать примитив»** служит для идентификации графических примитивов и запрашивает точку идентификации, расположенную поблизости от любой точки изображения примитива на экране дисплея. Затем производится поиск в графическом файле и выбирается примитив.

**Команда «Указать сегмент»** предназначена для идентификации сегментов чертежа. Если сегментом является блок, то он идентифицируется как единое целое. Команда реализуется аналогично предыдущей команде. Обычно при редактировании чертежа достаточно работать на уровне сегментов.

В соответствии с тенденциями развития вычислительной техники каждые 10 лет происходит снижение ее стоимости в пересчете на машинную операцию в 100 раз, а в пересчете на ячейку памяти — в 1000 раз. Это взаимосвязано с частой сменой технических средств, появлением новых типов устройств и новых структур вычислительных систем. В частности, в САПР обновляются ЭВМ, внедряются персональные АРМ с растровыми цветными терминалами, матричные и векторные процессоры и др. Новые возможности стимулируют появление новых задач как в проектирующих, так и обслуживающих подсистемах. В результате непрерывно и существенно возрастает доля затрат на программирование и у изготовителей средств вычислительной техники, и у пользователей, достигая 80 % общих затрат на создание САПР.

Таким образом, экономически целесообразна такая разработка программного обеспечения машинной графики, чтобы оно могло использоваться на различном оборудовании. Тем самым не только обеспечивается независимость конкретных подсистем от имеющихся технических средств, но и резко расширяются области применения машинной графики.

Решает рассматриваемую проблему стандартизация подсистем моделирования и визуализации. Первая из них обеспечивает функции задания геометрической и топологической моделей, а также функции работы с ними при проектировании. Вторая позволяет получать на основе этих моделей необходимые изображения. Можно выделить два уровня стандартизации: протокол для передачи информации между прикладной

программой и программами машинной графики; стандарт на интерфейс между аппаратно-зависимой и аппаратно-независимой частями программных средств машинной графики. Эти уровни стандартизации обеспечивают функциональный интерфейс между компонентами машинной графики и прикладными программами, делают независимой визуализацию графических образов от прикладной области и используемых графических устройств отображения.

Стандарт подсистем моделирования и визуализации определяет ядро графической системы и не зависит от особенностей работы с различными техническими средствами. Он оперирует с логическими (виртуальными) устройствами ввода информации и простейшими элементами изображений. Ядро систем обеспечивает формирование изображений по данным, представленным в системе координат модели, и регламентирует протокол взаимодействия пользователя с графической системой.

### 3.5. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основу информационного обеспечения САПР составляют банки данных, создаваемые как обслуживающие подсистемы САПР и предназначенные для автоматизированного снабжения необходимой информацией проектирующих подсистем. Банки данных состоят из баз данных и систем управления базами данных (СУБД).

*Базы данных* возникли по мере осознания в процессе разработки программного обеспечения ценности данных вне зависимости от использующих эти данные программ. Можно сказать, что программы носят временный характер, они непрерывно меняются, а базы данных являются хранилищем конструкторской, технологической, исследовательской, управленческой, нормативно-справочной, экономической и иной информации.

Состав баз данных определяют с учетом технических и эксплуатационных параметров объектов проектирования, характеристик процесса проектирования, типовых проектных решений, действующих нормативных и справочных материалов. При построении баз данных должен выполняться принцип информационного единства, т. е. должны использоваться термины, символы, условные обозначения, специализированные языки и все другие способы представления информации, принятые в САПР.

Содержание, структура и организация использования баз данных должны обеспечивать: актуальность, полноту отображения и достоверность информации; эффективность методов и средств сбора, хранения, накопления, обновления, редактирования, поиска и представления данных; многоцелевое использование данных при их однократном вводе в ЭВМ; возможность объединения баз данных в различных САПР, ГПС и других автоматизированных системах; гибкость, т. е. способность к оперативной адаптации в условиях различных систем автоматизации производства; наглядность информации, комфортность доступа к данным; экономичность, которая обеспечивается исключением дублирования данных, минимальными избыточностью информации и объемом памяти ЭВМ для хранения данных, малым временем обработки данных; регулирование

возможности доступа к базам данных, эффективная защита секретной или служебной информации от несанкционированного доступа.

В основе построения баз данных лежит *структурирование информации*. В нем отражено главное отличие баз данных от файловых систем, которые также находят применение в автоматизированных системах различного назначения. При этом используются следующие понятия:

- 1) элемент данных — наименьшая единица данных, имеющая идентификатор;
- 2) сегмент данных — совокупность элементов данных;
- 3) логическая запись — совокупность элементов и сегментов данных;
- 4) файл — совокупность логических записей;
- 5) физическая запись — элементарная единица данных, которая может быть записана или считана одной командой ввода-вывода ЭВМ;
- 6) набор данных — совокупность физических записей.

В указанной терминологии база данных может быть определена как совокупность специальным образом структурированных данных и связей между их элементами, сегментами и логическими записями. Построение баз данных в таком понимании возможно лишь для информационных объектов, обладающих общими для целого класса свойствами. При необходимости предоставления в информационной базе объектов с индивидуальными свойствами целесообразно строить базы неструктурированных данных, допускающие фиксирование информации на естественном языке.

Типовая технология проектирования баз данных ориентирована на использование стандартных *систем управления базами данных* (СУБД). Широко применяют многие отечественные и зарубежные СУБД, предназначенные для ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ и зарубежных вычислительных систем. Они различаются организацией данных, методами доступа к ним, наиболее эффективными областями применения и используют разные операционные системы (СУБД «U», «КВАНТ», «ДИЛОС», «ДИАМС», «СПЕКТР», «ИНЕС», «ОКА», «IMS», «IDS», «CODASYL», «ORACLE», «FORTH» и др.).

Независимо от типа в состав СУБД обычно входят: язык описания данных; язык манипулирования данными (набор операторов управления компонентами базы данных, редактирования, контроля и защиты целостности и секретности данных); язык запросов, на котором осуществляется взаимодействие с базой данных автоматизированных систем при решении конкретных задач; компиляторы, интерпретаторы, сервисные программы администрирования и средства графического представления данных.

Развитие СУБД объясняется тем, что принятое в алгоритмических языках типа ФОРТРАН, КОБОЛ, ПЛ/1 представление данных явно неэффективно для отображения всего многообразия применяемых в автоматизированных системах структур данных и решения задач управления информационными потоками. СУБД позволяют кодировать вводимые данные однократно, обеспечивают значительную экономию труда разработчиков автоматизированных систем в самых различных областях использования вычислительной техники, а накопление информации в банках увеличивает интеллект ЭВМ.

## **Вопросы для самопроверки**

1. Какие процессы автоматизируют САПР изделий и САПР технологии?
2. По каким признакам можно характеризовать разновидности САПР?
3. Объясните условия возможности и целесообразности создания САПР.
4. В чем различие использования ЭВМ для решения вычислительных задач и для автоматизации проектирования?
5. Какие требования предъявляются к языковым средствам САПР?
6. Что входит в состав программного обеспечения САПР?
7. Каким образом технология программирования влияет на процесс разработки специализированного программного обеспечения САПР?
8. Каковы основные цели интерактивной машинной графики как нового направления прикладной математики?
9. Поясните технические характеристики графических дисплеев.
10. Какие функции выполняют в системах автоматизации производства банки данных?

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

---

### 4.1. ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Процесс технологической подготовки производства (ТПП) в машиностроении содержит разработку технологической документации, выбор, приобретение или изготовление технологической оснастки и заготовок, приобретение комплектующих изделий, организацию рабочих мест и всего производства. Эти мероприятия необходимы для реализации изготовления деталей, узлов, агрегатов и сборки машин.

Совершенствование ТПП на основе применения средств вычислительной техники необходимо в связи с высокими темпами роста машиностроительного производства и ужесточением требований к качеству выпускаемых изделий. Так как современные машины и приборы становятся все более сложными, точными и должны быть все более надежными в работе, то, следовательно, возрастают объемы и сложность работ на всех этапах ТПП.

В машиностроении накоплен опыт системного подхода к процессу ТПП, базирующийся на типовой и групповой технологии, внедрении элементов автоматизированных систем технологической подготовки производства (АС ТПП), применении высокоавтоматизированного оборудования механообработки (в том числе ГПС), стандартизации технологической оснастки. Такой подход позволил создать «Единую систему технологической подготовки производства» (ЕС ТПП), которая представляет собой комплекс установленных стандартами взаимосвязанных правил по организации и ведению ТПП на основе современных методов организации производства и широкого применения средств вычислительной техники.

Принципы, заложенные в ЕС ТПП (системность, преемственность, комплексная стандартизация и автоматизация), направлены на создание методических, функциональных, информационных и организационных основ АС ТПП. При этом ЭВМ не подменяет технолога, а служит средством подъема творческого уровня его труда, берет на себя решение многих нетворческих (рутинных) технологических задач.

ЕС ТПП определяет следующие объекты автоматизации: проектирование технологических процессов, технологического оборудования и оснастки; управление технологической подготовкой производства; информационный поиск деталей-прототипов, сведений о процессах их обработки,

средств технологического оснащения; разработка управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

Разный уровень технологических разработок механообработки, разная форма их представления и степень формализации создают определенные сложности при использовании ЭВМ в технологической подготовке производства. Проводятся научно-исследовательские работы для получения качественных методических и нормативных материалов, на основе которых возможна разработка эффективных алгоритмов и программ АС ТПП. Применение ЭВМ в технологии машиностроения, в свою очередь, стимулирует научные исследования, позволяет разрабатывать и использовать расчетные методы и методы математического моделирования практически любой сложности, что без ЭВМ реализовать трудно или практически невозможно.

Экономический эффект при автоматизации ТПП достигается за счет снижения трудоемкости работ практически на всех этапах, повышения гибкости и оперативности процесса ТПП при переходе на выпуск новой продукции, оптимизации принимаемых решений, а также за счет более полного использования имеющихся резервов в технологических процессах механообработки (повышения качества отдельных деталей и изделий, уменьшения износа оборудования и режущего инструмента и т. д.).

Одной из главных научных проблем технологии машиностроения является дальнейшее изучение закономерностей протекания технологических процессов и выявление тех параметров, воздействие на которые наиболее эффективно для интенсификации производства. В исследованиях технологических процессов важно полностью перейти от приближенного описания происходящих явлений к математически строгим понятиям, выражениям и моделям. Высокоточные алгоритмы АС ТПП особенно необходимы для автоматизированного производства любой серийности.

Тенденции развития ГПС в машиностроении показывают, что основным путем их внедрения является поэтапная автоматизация ТПП и технологических процессов на действующих предприятиях, начиная с освоения отдельных ГПМ. Затем осуществляется объединение ГПМ в ГАУ и ГАЛ с различным уровнем интеграции и автоматизации функций ТПП, планирования и управления.

Постепенная реализация ГПС на действующих предприятиях обуславливает повышение эффективности капиталовложений, ускорение их окупаемости, позволяет лучше подготовить организационно-производственную и социальную среду, в которой функционирует ГПС. Кроме того, поэтапное создание и внедрение ГПС отвечает реальным возможностям большинства предприятий, особенно в современных условиях хозяйствования на основе самоокупаемости и самофинансирования.

Обеспечение экономической эффективности ГПС при их широком распространении требует решения комплекса проблем внутри предприятия, отрасли и межотраслевого характера. К таким проблемам прежде всего относятся: создание ГПС на базе передовых технологических процессов; оптимизация технологических процессов и отработка технических решений, обеспечивающих приемлемую стоимость компонентов

ГПС; дальнейшее повышение производительности и надежности ГПМ и ГПС; совершенствование организационной и производственной структуры предприятия и подразделений, эксплуатирующих ГПС.

Разработке ГПС предшествует *анализ структуры программы выпуска изделий*, который производится с целью уточнения действующей программы выпуска продукции и ее оценки на перспективу, что позволяет выявить предполагаемые изменения технологических параметров и объемов выпуска продукции, влияющих на стабильность производственного цикла. Полученные при этом результаты необходимы при отборе номенклатуры объектов для производства в условиях ГПС из числа перспективных изделий с наиболее устойчивыми конструктивными и технологическими параметрами.

*Технико-экономическое обоснование* позволяет выявить объект и уровень автоматизации, которые могут дать наибольший эффект при выделенных ресурсах. Основное содержание технологических работ состоит в моделировании производственной структуры, которое позволяет выделить из большого числа возможных вариантов наиболее эффективные для первоочередных разработок.

В ходе анализа организационно-технологической структуры предприятия и подразделений устанавливаются соответствие специализации производственных подразделений характеру и серийности перспективных изделий, предпосылки для комплексной и интегрированной автоматизации производства. Если для внедрения ГПС необходима реорганизация подразделений, то проводят дополнительные исследования по классификации и группированию изделий, специфике применения оборудования с ЧПУ, созданию специализированных подразделений на основе развития группового производства.

Практическое значение групповой технологии при создании ГПС можно свести к следующим основным положениям: чем выше уровень унификации изделий, технологии, технологической оснастки и систем ЧПУ, тем проще создание АС ТПП и эффективнее ее эксплуатация; чем более специализированы цехи, участки, рабочие места в пределах выпускаемой номенклатуры изделий, ограниченной группой технологически однородных изделий, тем выше производительность ГПС; чем более четко определен конечный результат внедрения ГПС по группам изделий предприятия, тем целенаправленнее можно организовать работы на каждом этапе разработки ГПС; чем полнее система планирования и управления предприятием подчинена требованиям ГПС, тем выше уровень обеспечения технологических процессов заготовками, материалами, оснасткой, управляющими программами для оборудования с ЧПУ и меньше простои оборудования.

*Анализ технологических процессов* изготовления продукции проводят по каждому типовому представителю. В результате определяют следующие данные: состав и последовательность операций, режимы и трудоемкость операций, включая основное, вспомогательное и подготовительно-заключительное время; разряд работы по каждой операции; состав вспомогательного времени по элементам, включая время на установку, выверку и закрепление деталей, снятие их после обработки, установку,



подвод и отвод инструмента, измерения в технологическом процессе; машинное время, время транспортирования, трудоемкость контрольных операций; номенклатура и характеристики используемых приспособлений; годовые затраты на эксплуатацию оборудования и технологической оснастки; тип, модели оборудования, его количество, план размещения; коэффициенты сменности и загрузки оборудования.

С точки зрения ТПП предпочтительными для внедрения ГПС являются технологические процессы, состоящие из однородных технологических операций обработки деталей большой номенклатуры одной группы, выпускаемых мелкими и средними партиями. При этом детали обычно имеют одинаковые размеры и точностные характеристики, но для их обработки требуется технологическое оборудование различных видов и многократная перестановка.

*Анализ имеющихся средств производства* имеет решающее значение при определении последовательности создания ГПС на действующем предприятии, так как позволяет получить представление о степени технической подготовленности предприятия к ведению работ. Благоприятствующим созданию ГАУ и ГАЛ фактором является наличие и опыт эксплуатации оборудования с ЧПУ, находящего все большее распространение в механических и кузнечно-прессовых цехах. Анализ средств производства позволяет также установить возрастной состав и степень изношенности имеющегося оборудования, на основе чего определяется программа его обновления.

## 4.2. СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ АС ТПП

АС ТПП — промежуточное звено между конструкторской подготовкой производства и производственными цехами, службами с их системами управления (АСУ ТП, ГПС, АСУП) и соединена с ними многими связями интенсивного обмена информацией, образуя множество локальных кибернетических систем.

Учитывая большое разнообразие задач, возникающих на предприятиях, в настоящее время создают гибкие и минимальные по структуре АС ТПП, построенные на единой методической основе ЕС ТПП. Из множества подсистем выбирают и объединяют в АС ТПП те, которые необходимы для обеспечения конкретных функций. Во многих случаях каждая из этих подсистем может функционировать как самостоятельная система, автоматизируя лишь отдельные этапы ТПП.

Общий состав и порядок разработки АС ТПП стандартизованы. Стандарты нацеливают технологов на широкое использование экономических и математических методов моделирования, а также новых форм организации ТПП, основной среди которых является форма группового производства. Системы предназначены как для выполнения функций ТПП новых изделий, так и для совершенствования производства уже выпускаемых изделий в соответствии с заданными техническими и экономическими показателями.

Подсистемы АС ТПП группируют в подсистемы общего и специального назначения. К первому виду относят подсистемы управления ТПП, фор-

мирования исходных данных, оформления и тиражирования технологической и плановой документации, банки данных.

Подсистема управления ТПП необходима для выполнения функций связи воедино подсистем, связи с АСУП и контроля работы АС ТПП (организует согласованное функционирование всех подсистем).

Подсистема формирования исходных данных предназначена для подготовки текущих и нормативных данных, используемых подсистемами специального назначения. В ее функции входят анализ информационных потоков и заполнение массивов с данными.

Состав подсистем специального назначения определяется видом и составом конкретного производства, выполняемыми АС ТПП функциями.

Подсистема проектирования технологических процессов последовательно решает следующие задачи: подготовку и анализ данных для принятия принципиальных решений, определяющих технологический процесс; назначение маршрутной технологии, комплекса операций и переходов, необходимых для изготовления деталей в соответствии с техническими требованиями; оптимизацию распределения припусков; выбор оборудования, унифицированных зажимных приспособлений, режущего инструмента и другой технологической оснастки; в случае отсутствия универсальных оборудования и оснастки, подготовку другим подсистемам заданий на проектирование; расчет оптимальных режимов обработки и технически обоснованных норм времени на обработку; группирование технологических процессов по общности технологии, оборудования и оснастки; выборку и формирование данных для АСУП; формирование технологической документации, необходимой для производственной реализации спроектированного технологического процесса (рис. 4.1).

Подсистема разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ обеспечивает формирование в кодах конкретных систем ЧПУ программ обработки деталей как на отдельных станках, так и ГПС (см. разд. 7.5).

Подсистема обработки объектов производства на технологичность предназначена для повышения технологичности выпускаемых изделий на всех стадиях ТПП, их унификации, стандартизации технологической оснастки и контроля возможности изготовления деталей на производственной базе предприятия при заданных технических требованиях и серийности. Одним из основных средств решения этих задач является использование банков данных.

В подсистеме конструирования технологического оснащения выполняется проектирование специального технологического оборудования, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента, зажимных приспособлений. В гл. 5 рассмотрены на примере автоматизации проектирования станочных зажимных приспособлений основные методические аспекты создания САПР.

Подсистема определения рациональной структуры и состава производственных подразделений предприятия применяется с целью реализации прогрессивных технологических решений и выбора прогрессивного технологического оборудования для обработки деталей, вошедших в укрупненные группы. С помощью этой

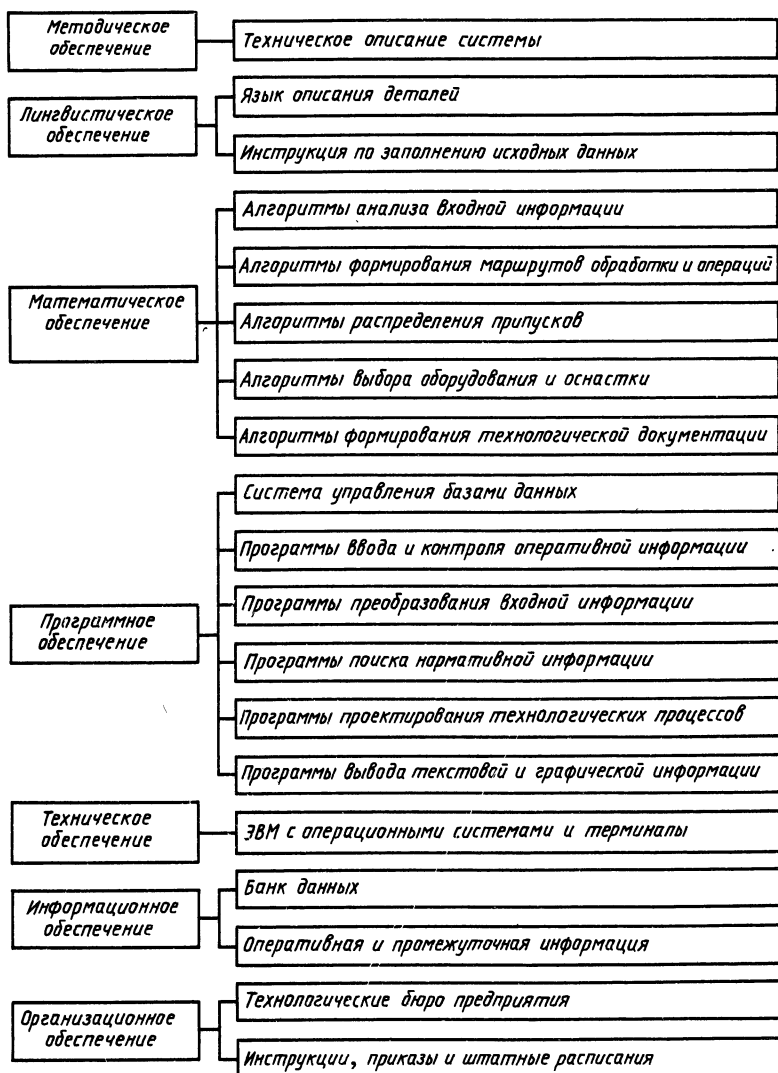


Рис. 4.1. Структура подсистемы автоматизированного проектирования технологических процессов

подсистемы разрабатываются организационно-технические основы группового производства.

Автоматизированное решение указанных задач в полном объеме в настоящее время не представляется возможным из-за отсутствия формального описания правил их решения. Поэтому уровень автоматизации решения задач в подсистемах разный.

Структурные схемы обычно называют структурной моделью

системы. В рассматриваемом случае структурная модель — это схема технологической подготовки производства, в которой зафиксирована иерархическая разбивка на подсистемы и указано их функциональное назначение. В свою очередь, каждая подсистема АС ТПП может быть рассмотрена как отдельная система и для нее можно определить все имеющиеся подсистемы. Такое ступенчатое деление АС ТПП и ее подсистем на составные части проводят до уровня программных модулей.

Кроме структурной модели АС ТПП характеризуют функциональная, информационная и организационная модели.

В функциональной модели отражаются функциональные связи, существующие между отдельными структурными элементами системы, выявляется взаимодействие между ними при выполнении всех функций АС ТПП. Функциональные модели (как и структурные) могут быть представлены с разной степенью детализации на уровне систем, подсистем, задач, блоков, модулей, процедур. Обычно они оформляются в виде схем алгоритмов.

Информационная модель АС ТПП позволяет анализировать информационные потоки, что необходимо для определения состава входной и выходной информации по системе в целом и всем структурным элементам, установления информационной совместимости задач (прежде всего с точки зрения единообразия представления входной и выходной информации элементов), определения необходимых технических средств ввода и хранения информации.

Существуют несколько методов изучения информационных потоков, которые основаны на моделировании систем с помощью графического представления информационных связей (графов) или с помощью матриц увязки информации. Информационная модель может быть типовой и рабочей. Типовую модель создают для группы однотипных по общим организационно-производственным признакам предприятий с целью получения прогрессивных типовых решений многочисленных задач ТПП. Рабочая модель, создаваемая на основе типовой, предназначена для внедрения на конкретном предприятии. Так как совершенствование ТПП происходит непрерывно, то рабочая информационная модель фиксирует лишь определенный этап развития АС ТПП.

Организационная модель АС ТПП может быть представлена в виде схемы, в которой указаны производственные подразделения, входящие в систему, и связи между ними.

Для повышения экономического эффекта от внедрения АС ТПП необходимо обеспечить: возможность внедрения АС ТПП на различных по характеру и номенклатуре выпускаемой продукции предприятиях; унификацию методического, лингвистического, математического, программного, технического, информационного и организационного обеспечения АС ТПП с целью широкой применяемости всех подсистем; открытость системы, чтобы она могла быть скомпонована путем сочетания отдельных модулей, а в дальнейшем усовершенствована заменой и добавлением модулей; оптимальное распределение функций между технологами и средствами вычислительной техники, чтобы за человеком были оставлены лишь творческие процессы, не поддающиеся формализации, или процессы,

ручное выполнение которых сейчас дает больший экономический эффект; применение новейших достижений науки и техники в области моделирования, оптимизации проектирования технологических процессов, алгоритмирования, программирования и технических средств.

Создаваемые АС ТПП должны снижать стоимость и трудоемкость ТПП, повышать качество решаемых технологических задач в непрерывно изменяющихся условиях современного машиностроительного производства. Одним из главных принципов построения АС ТПП является принцип преемственности технологических и организационных решений при производстве новых изделий. Все положительное, что накоплено в ТПП, должно быть в наибольшей степени использовано в производстве новых машин и приборов. На основе такого подхода можно выделить следующие методы проектирования технологических процессов: проектирование с повторным использованием единичных технологических процессов; проектирование с использованием типовых и групповых технологических процессов; проектирование путем синтеза оригинальных технологических процессов.

Первый метод основан на использовании готовых решений на всех этапах проектирования за счет заимствования существующих разработок. Для реализации этого метода необходимо иметь развитую информационно-поисковую систему, в банке данных которой находятся поисковые образы деталей и их технологические процессы. Качество процесса зависит от того, насколько удачен поиск детали-аналога. Этот метод проектирования целесообразно использовать для таких разновидностей деталей, для которых отсутствуют унифицированные технологические процессы или нет возможности для автоматизированного синтеза.

Второй метод основан на использовании оптимального технологического оснащения и передовых форм организации производства при сокращении количества перебираемых вариантов. Для его реализации необходимо иметь комплекс унифицированных процессов (см. разд. 1.2).

При автоматизированном синтезе технологических процессов типизация решений выполнена на уровне отдельного перехода. Для каждой поверхности детали выделяют промежуточные ее состояния от заготовки до окончательного вида и выбирают методы их обработки. Синтез технологического маршрута производят в ходе анализа размерных связей конструктивных элементов детали с их базами. Разработку операционной технологии строят на анализе структурных связей в заготовке и детали. Синтез оптимальных вариантов увеличивает время и стоимость ТПП, поэтому целесообразно увеличивать долю типовых решений, учитывающих специфику предприятия, чтобы снизить вариантность и упростить алгоритмы и программы.

Общая постановка проблемы АС ТПП заключается в создании единой интегрированной системы, позволяющей использовать все три метода проектирования. Построение системы должно предусматривать единый пакет прикладных программ, развитый диалоговый режим работы и единый банк данных. Проектирование в этом случае выполняется в три этапа. На первом этапе используют унифицированные технологические процессы. Если для детали не удалось спроектировать процесс на базе типовой

или групповой технологии, производят синтез оригинального технологического процесса с использованием отдельных типовых решений. В случае неудачи, проектирование осуществляется на основе детали-аналога в режиме диалога.

Одним из перспективных направлений совершенствования АС ТПП является создание сетей ЭВМ. Это означает, что технолог имеет непосредственный доступ к персональной ЭВМ с необходимым набором терминальных устройств, которая через каналы связи подключена к центральному вычислительному комплексу большой мощности. К помощи центральной ЭВМ прибегают при необходимости поиска информации в банках данных предприятия или отрасли, а также при решении особо сложных задач ТПП. В условиях ГПС информация от АС ТПП по каналам связи поступает к управляющим ЭВМ, которые обеспечивают управление технологическим и вспомогательным оборудованием.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Чем объясняется высокая экономическая эффективность автоматизации ТПП?
2. Поясните принцип системного подхода к совершенствованию машиностроительного производства.
3. Какие функции выполняют АС ТПП?
4. Что входит в состав АС ТПП?
5. По каким признакам можно характеризовать разновидности АС ТПП?
6. Приведите примеры технологической информации, которую необходимо формализовать при создании компонентов АС ТПП?
7. Почему оборудование с ЧПУ следует рассматривать как технологический исполнительный орган вычислительной техники?
8. Перечислите задачи, решаемые подсистемой проектирования технологических процессов.
9. Что понимают под оптимизацией технологических процессов?
10. В чем принципиальное различие информационной, функциональной и структурной моделей АС ТПП?

### **5.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗАЖИМНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

Сложным, трудоемким и ответственным этапом технологической подготовки производства в машиностроении является оснащение технологических процессов универсальными и специальными зажимными приспособлениями, номенклатура которых чрезвычайно разнообразна.

Зажимные приспособления предназначены для установки, базирования и закрепления заготовок в определенном положении при их обработке на универсальных и агрегатных станках, станках-автоматах, станках с ЧПУ, станках в составе АЛ и ГПС. Они представляют собой комплекс пассивных элементов механообработки, объединенных на основе идентичности служебных функций и методов обработки деталей; не имеют собственных средств формообразования деталей, однако качественно влияют на все параметры механообработки, связывая заготовки с рабочими органами станков и являясь важными и сложными компонентами системы «станок — приспособление — инструмент — заготовка».

Многообразие и сложность станочных зажимных приспособлений объясняется тем, что на формирование их конструкций оказывает влияние значительно большее число факторов по сравнению с другими видами технологической оснастки. Основными из этих факторов являются: конфигурация, размеры, масса, материал, жесткость и точность заготовок и готовых деталей; способ базирования заготовок; выполняемые технологические операции и режимы резания; характер стружкообразования; режимы отвода стружки; вид инструментальной оснастки; общая компоновка станка, уровень его автоматизации; конструктивные особенности узлов и механизмов станка; конструктивные особенности унифицированных элементов приспособлений, степень унификации; способ транспортирования заготовок на рабочие позиции станка; требования к производительности станка; серийность производства и возможность переналадки станка; экономические и эргономические факторы.

Своевременное оснащение технологических процессов отечественного быстро развивающегося многоотраслевого машиностроительного производства станочными зажимными приспособлениями представляет собой важнейшую задачу подготовки производства новых машин, от метода решения которой существенно зависят качество машин и эффективность машиностроительного производства. В настоящее время затраты на изготовление и приобретение зажимных приспособлений достигают в среднем

по станкостроению 10—15 % от стоимости оборудования. С быстрым развитием многоцелевых станков с ЧПУ, переналаживаемых АЛ и ГПС эти затраты имеют тенденцию к увеличению.

Из-за необходимости непрерывного обновления и совершенствования машиностроительной продукции, что является определяющим показателем научно-технического прогресса, растут объемы и сложность конструкторских работ по созданию зажимных приспособлений. Кроме того, сокращение сроков освоения выпуска новых изделий, повышение производительности труда, возрастание требований к качеству и надежности машин — эти особенности современного машиностроения вызывают необходимость резкого увеличения оснащенности технологических процессов приспособлениями. В результате, та часть имеющегося потенциала конструкторов, которую возможно направить на конструирование приспособлений, часто не покрывает потребностей СКБ, станкозаводов и других предприятий машиностроения, а время обеспечения технологических процессов зажимными приспособлениями часто становится лимитирующим в общем комплексе работ ТПП.

На многоцелевых станках ГПС распространены два варианта использования зажимных приспособлений: установка заготовок в стационарных приспособлениях, закрепленных на столе станка, либо использование сменных палет. При первом варианте приспособления должны обеспечивать обработку заготовок с четырех-пяти сторон с одного установа.

Для загрузки заготовок из магазинов или из тары используются промышленные роботы. При небольшом времени обработки заготовок целесообразно использование на станках устройств автоматической смены палет. В этом случае во время обработки заготовки, установленной на одной палете, робот меняет заготовку в приспособлении-дублере, установленном на второй палете, находящейся в загрузочно-разгрузочной позиции вспомогательного стола. В связи с таким вариантом использования приспособлений усложняются устройства для автоматического зажима заготовок: гидравлические зажимные устройства должны обеспечивать подвод масла только при зажиме-разжиме заготовки и надежное закрепление заготовки в процессе обработки.

В условиях мелкосерийного производства применение роботов для загрузки заготовок нецелесообразно, так как из-за необходимости частой смены захватных устройств робота и частой смены зажимных приспособлений на столе станка или на палетах станки ГПС будут простаивать. Кроме того, необходимо присутствие рабочего для переналадки захватов робота и смены приспособлений, что значительно уменьшает гибкость станочных систем. Поэтому в мелкосерийном производстве более эффективно применение зажимных приспособлений, komponуемых на палетах. Переналадка или перекомпоновка приспособлений осуществляется на загрузочном участке вне станочной системы. На этом же участке устанавливают и закрепляют в приспособлениях заготовки. Для накопления палет с заготовками их помещают в накопитель, откуда робот переносит их на загрузочную позицию станков. На палетах выполняются унифицированные рым-болты, обеспечивающие установку и съём палет тем же захватным устройством промышленного робота, который осуществляет захват



инструмента. Таким образом, отпадает необходимость в переналадке захватов и устраняются простои станков.

Более широкое применение в ГПС получило другое решение этой же проблемы: для смены палет используются не промышленные роботы, а специальные подвижные или неподвижные магазины-накопители. Смена палет с уже закрепленными заготовками из магазина в загрузочную позицию станка осуществляется автооператором.

Приспособления, komponуемые на палетах, должны обеспечивать более высокую точность базирования заготовок по сравнению с другими вариантами установки. Это необходимо для исключения автоматической выверки их положения.

В связи с необходимостью сокращения до минимума времени переналадки при смене объектов обработки в условиях ГПС целесообразно применять агрегатированные быстропереналаживаемые зажимные приспособления. Конпоновки таких приспособлений обеспечивают возможность базирования и закрепления заготовок различной формы и размеров. Специальные приспособления, предназначенные для базирования и закрепления только одного определенного вида заготовок, в ГПС малоэффективны.

Среди задач, связанных с повышением технического уровня зажимных приспособлений, наибольший интерес представляют задачи повышения точности, жесткости и экономической эффективности. Это достигается повышением жесткости базовых деталей, переходом на беззазорный метод соединения конструктивных элементов, применением быстродействующих гидрозажимов, расширением универсальности и применяемости конструктивных элементов для решения самых разнообразных технологических задач. На решение этих задач направлено внедрение комплекса конструктивных элементов универсально-сборной переналаживаемой оснастки (УСПО).

Набор элементов УСПО и их конструкция позволяют компоновать зажимные приспособления для любых технологических процессов механообработки. Он объединяет на основе единства присоединительных размеров и установочных параметров наиболее часто применяемые конструктивные элементы приспособлений (базовые плиты квадратной, прямоугольной и круглой формы, опоры, угольники, установочные элементы, прихваты, планки, крепежные элементы, средства механизации и автоматизации зажима и т. д.). Этот набор обеспечивает по сравнению с другими видами переналаживаемых приспособлений более высокую точность и производительность механообработки при любой серийности производства.

Полный комплект УСПО состоит из 9960 конструктивных элементов 330 наименований. Точность изготовления элементов допускает их полную взаимозаменяемость и взаимособираемость без какой-либо подгонки и доработки. Применяемые материалы и виды химико-термической обработки обеспечивают износостойкость конструктивных элементов на период эксплуатации более 10 лет. Стоимость комплекта выше по сравнению со стоимостью набора необратимых специальных приспособлений с аналогичными функциональными возможностями, но эти затраты компенсируются и перекрываются благодаря многократному длительному исполь-

зованию конструктивных элементов и высокой универсальности комплекта.

Дело в том, что трудоемкость и продолжительность проектирования и изготовления специальных приспособлений составляют до 80 % общей трудоемкости и времени технологической подготовки производства. Срок же службы таких приспособлений составляет 2—3 года и ограничен периодом нахождения конкретного изделия в производстве. Часто этот срок снижается из-за того, что изделия модернизируют, совершенствуют, поэтому специальные приспособления используют не более половины возможного срока службы и не обеспечивается полная отдача средств, вложенных на их создание.

Основой эффективности широкого применения комплектов УСПО является многократное использование одних и тех же конструктивных элементов и узлов в разных компоновках приспособлений, которые создаются в течение всего срока службы элементов. При этом допускается огромное количество переналадок и перекомпоновок для обработки новых партий заготовок. Внедрение САПР приспособлений из элементов УСПО резко повышает указанную эффективность за счет снижения затрат времени на проектирование компоновок и повышения их качества.

Можно выделить следующие технико-экономические предпосылки актуальности автоматизации проектирования компоновок зажимных приспособлений для ГПС: частая смена объектов производства; отсутствие единого информационного обеспечения проектных работ для различных предприятий; высокие затраты средств и времени на проектирование приспособлений; вынужденное ограничение расчетов при проектировании; непрерывное усложнение конструкций обрабатываемых деталей; возрастание требований к их качеству и стабильности показателей качества.

Фактор высокой гибкости комплекта УСПО особенно важен в условиях ГПС. Все многообразие технологических процессов, выполняемых на оборудовании конкретной ГПС, реализуется при постоянном составе оборудования, и лишь технологическую оснастку приходится заменять при каждой новой партии деталей.

Возможность создания САПР зажимных приспособлений для ГПС обусловлена следующими теоретическими предпосылками: возможность синтеза конструкций приспособлений из конечного числа заранее определенных конструктивных элементов; существование некоторого количества моделируемых соотношений (связей) между конструктивными элементами в любых компоновках приспособлений; возможность описания каждого конструктивного элемента и отношений между ними; наличие функциональных взаимосвязей между информацией, описывающей компоновку приспособления, и сведениями о заготовке и технологических операциях.

Таким образом, современное производство зажимных приспособлений для ГПС с использованием комплекта УСПО полностью удовлетворяет условиям возможности и целесообразности создания САПР, сформулированным в разд. 3.1: имеют место высокий уровень стандартизации конструктивных элементов, единство принципов построения приспособле-

ний и процессов проектирования при большом объеме проектных работ с индивидуальными требованиями к компоновкам приспособлений.

## 5.2. КОНСТРУКТИВНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Любое станочное зажимное приспособление представляет собой структурно законченную иерархическую систему составляющих его конструктивных элементов, групп и узлов. Функции приспособления являются комплексным проявлением функций его конструктивных узлов, функции узла — проявлением функций его конструктивных групп, функции группы — проявлением функций ее конструктивных элементов, функции каждого элемента — проявлением функций его поверхностей.

При анализе и синтезе конструкций приспособлений удобно использование графов функциональных групп. Под функциональной группой понимается набор конструктивных элементов УСПО, выполняющих в компоновке приспособления определенную самостоятельную функцию. Можно выделить, например, опорные, установочные, направляющие, зажимные и комбинированные функциональные группы.

Конструктивный анализ и синтез зажимных приспособлений целесообразно проводить на основе классификации заготовок, схем их базирования и схем закрепления.

К л а с с и ф и к а ц и я заготовок позволяет ускорить их поиск по унифицированным признакам, так как сравнение кодовых обозначений производится быстрее, чем непосредственное сравнение заданных на чертежах параметров. В свою очередь, по типовой заготовке можно легко определить и типовое конструктивное решение приспособления, которое остается лишь скорректировать в диалоговом режиме с учетом имеющихся особенностей технологического и конструктивного характера. С разработкой ЕСКД и ЕС ТПП (см. рис. 1.3) в нашей стране создана единая система конструкторско-технологического кодирования деталей (заготовок).

Выбор базовых поверхностей заготовок имеет решающее значение при типизации и проектировании зажимных приспособлений. Базовыми поверхностями (базами) заготовки называют поверхности, относительно которых определяется положение всех ее остальных поверхностей.

В общем случае заготовка имеет три базовые поверхности, представляющие собой систему координат заготовки: установочную, направляющую и опорную. Установка заготовки в приспособлении производится с базированием по явным базам, скрытым базам и сочетанию явных и скрытых баз.

После того как положение заготовки относительно приспособления определено с требуемой точностью, его необходимо сохранить на все время процесса обработки, что достигается обеспечением непрерывности контакта сопряженных баз заготовки и приспособления. Другими словами, необходимо обеспечить *определенность базирования* заготовки, для реализации которой к заготовке прикладываются усилия зажима, со-

здающие силовое замыкание между заготовкой и приспособлением. Силы и их моменты, создающие силовое замыкание и обеспечивающие непрерывность контакта сопряженных баз, должны быть больше сил и моментов, стремящихся нарушить этот контакт при механообработке. Без соблюдения такого условия невозможно получение заданной точности готовой детали, а во многих случаях может быть создана и аварийная ситуация в самом процессе резания.

Для выполнения определенности базирования заготовки в приспособлении необходимы: правильный выбор базовых поверхностей заготовки, создание правильного силового замыкания, оптимальный выбор точек приложения сил зажимных элементов и установление такой последовательности приложения этих сил, чтобы не произошло изменение положения заготовки во время ее закрепления.

От правильного выбора базовых поверхностей в значительной степени зависит фактическая точность выполнения размеров готовых деталей, точность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей при переустановках заготовок (при смене баз), а также производительность механообработки. Для автоматизированного выбора базовых поверхностей рационально использовать  *типовые решения*.

На рис. 5.1. показан укрупненный алгоритм автоматизированного проектирования зажимных приспособлений из конструктивных элементов УСПО. Классификаторы элементов УСПО и заготовок, типовые схемы базирования и закрепления определенной номенклатуры заготовок, сведения о ГПМ и режущем инструменте, а также все необходимые при проектировании компоновок приспособлений данные общемашиностроительного характера сведены в банк данных. Общесистемное программное обеспечение содержит операционные системы и базовые программы АРМ «Автограф-840» (см. разд. 2.5).

Проектирование приспособления начинают с процедуры ввода исходных данных, необходимых для функционирования алгоритмов САПР: описания детали, подлежащей обработке, заготовки и технологических операций. Затем с помощью дисплея конструктор выбирает базовую плиту, типоразмер которой определяется параметрами заготовки и типом ГПМ, и строит изображение заготовки в трех проекциях. Следующими проектными процедурами осуществляется проработка вариантов схемы базирования с анализом погрешностей базирования и выбор оптимального варианта. Определив точки базирования заготовки и тип соответствующей функциональной группы, конструктор выполняет поиск типовых конструкций. При наличии готового решения вызывается на экран дисплея изображение приемлемой функциональной группы. В случае отсутствия типового решения конструктор выбирает типы конструктивных элементов, выполняющих функции базирования, размещает их в точках базирования, подбирает нужные корпусные элементы.

Аналогично выполняется проработка всех функциональных групп, реализующих установку и закрепление заготовки на базовой плите. При этом необходима взаимоувязка групп между собой в единую компоновку зажимного приспособления. В ходе проектирования выполняются поверочные расчеты. Если результаты расчетов не удовлетворяют конст-

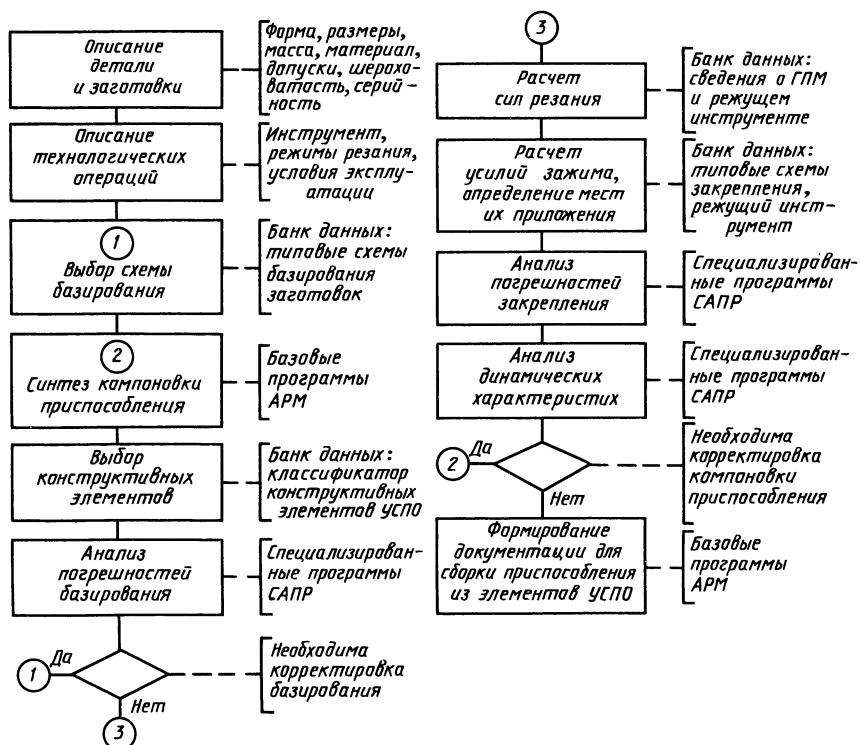


Рис. 5.1. Алгоритм автоматизированного проектирования зажимных приспособлений из элементов УСПО

руктора, то он вносит изменения в компоновку и конструкцию функциональных групп с последующим повторением расчетов. Окончательный вариант компоновки оформляется в виде сборочного чертежа, спецификации и сопроводительной документации с помощью терминальных устройств. Выходная информация однозначно определяет процесс сборки приспособления из элементов УСПО. В памяти ЭВМ сохраняется разработанный вариант компоновки, пополняя библиотеку типовых решений.

САПР зажимных приспособлений ориентирована на использование диалогового режима работы конструктора с ЭВМ. Конструктор через клавиатуру дисплея и минипланшета осуществляет ввод командных инструкций и получает на экране дисплея сообщения, решения и вопросы. Минипланшет используется как для целеуказания на экране, так и для ввода с меню команд, представленных в наглядной графической форме. Суть диалога состоит в том, что в процессе работы конструктора над компоновкой приспособления результаты каждого шага и процедуры проектирования отображаются на экране дисплея. Если конструктора удовлетворяют результаты выполненной процедуры, то он переходит к выполнению следующей. В противном случае он обращается к режиму редактирования для внесения изменений.

Особенности специализированного программного обеспечения САПР зажимных приспособлений рассмотрены в разд. 5.3.

### 5.3. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Оценка качества компоновок приспособлений из элементов УСПО в САПР проводится отдельно по статическим и динамическим показателям.

К статическим показателям относят погрешности, возникающие во время установки, и крепления заготовок до начала обработки. Вследствие неоднородности базовых поверхностей заготовок, а также погрешностей изготовления и сборки установочных элементов приспособления положение разных заготовок при обработке партии конкретных деталей различно. Каждая заготовка имеет действительные размеры, отличающиеся от размеров других заготовок данной партии. Если перед обработкой заготовки режущий инструмент координировать относительно технологических и установочных баз, то погрешности базирования не влияют на точность обработки. Если эта координация инструмента не выполняется, то всякое изменение в положении баз приводит к изменению их положения относительно режущего инструмента, что вызывает изменение на готовой детали всех размеров, заданных от технологических баз.

*Погрешность базирования* определяется как предельное поле рассеяния расстояний между технологической и измерительной базами в направлении выдерживаемого размера. Эта погрешность существенно зависит от принятой схемы базирования и отклонения размера, формы и расположения баз заготовки. Алгоритмы расчета погрешности базирования используют соответствующие геометрические построения и анализ размеров цепей.

Вследствие приложения к заготовке усилий зажима возникают контактные деформации в зонах «заготовка — установочные элементы», собственные деформации конструктивных элементов приспособления и собственные деформации заготовки. Все эти деформации вносят дополнительные *погрешности закрепления* в относительное положение заготовки и режущего инструмента. Алгоритмы их определения учитывают конструкцию заготовки, компоновку приспособления, конструкцию элементов приспособления, материалы заготовки и конструктивных элементов, величины и места приложения усилий зажима, удельные давления на сопрягаемых поверхностях.

К динамическим показателям относят погрешности, возникающие в процессе механообработки заготовок. Выбранный способ базирования и зажима конкретной заготовки должен обеспечивать надежную устойчивость системы «станок — приспособление — инструмент — заготовка». Компоновки приспособлений испытывают при эксплуатации нагрузки, величины, стабильность и направления которых изменяются в широких пределах в зависимости от вида обработки, режимов резания, параметров режущего инструмента, материала заготовок, характеристик шпиндельного узла и всего станка. При недостаточной жесткости компо-

новок возникающие деформации и вибрации снижают качество обработки, вызывают необходимость занижения режимов резания и, следовательно, производительности обработки и могут привести к браку.

Анализ динамических показателей особенно важен для высокоавтоматизированной механообработки на станках с ЧПУ и в условиях ГПС. В последние годы значительно возросли энергетические возможности этого оборудования в расчете на применение современных твердосплавных и минералокерамических инструментов, что также повышает требования к жесткости и виброустойчивости компоновок зажимных приспособлений.

Расчет *сил резания* для различных технологических операций осуществляется с помощью математической модели, устанавливающей эмпирические соотношения между характеристиками процесса резания и силовыми параметрами. Особенности конкретных видов механообработки учитываются величинами показателей степеней при переменных и поправочными коэффициентами. В справочниках по режимам резания приводятся обобщенные математические модели, комплексно учитывающие основные факторы, которые влияют на режимы обработки. Машиностроительные предприятия располагают уточненными данными по усилиям резания для конкретных станков, видов инструмента, его материала и материала обрабатываемой детали.

Для обеспечения статического равновесия заготовки необходимо, чтобы действие всех приложенных к заготовке сил отвечало шести уравнениям статики. Поэтому *усилия зажима* должны соответствовать усилиям резания, силам тяжести, силам инерции и силам трения в зонах контакта заготовки с установочными и прижимными элементами. При чистовых операциях механообработки высокоточных деталей предусмотрено их пережатие для уменьшения усилий зажима и, соответственно, погрешностей закрепления.

Расчет деформации заготовки основан на использовании метода конечных элементов. Составление расчетной схемы связано с расчленением заготовки на узловые, стержневые и пластинчатые элементы. Матрицы реакций всех конечных элементов вычисляют аналитически.

Узловыми элементами являются: точки, в которых приложены сосредоточенные силы или моменты сил; точки, в которых распределенная нагрузка имеет разрыв; свободные концы стержневых или пластинчатых элементов; точки, в которых осуществляется соединение концов стержневых элементов или вершин пластинчатых элементов; точки, в которых заготовка упруго связана с неподвижными опорами; точки, в которых жесткостные параметры стержневых элементов претерпевают разрыв.

В пределах каждого стержневого элемента площадь, осевые моменты инерции, момент инерции при кручении, модуль упругости и коэффициент теплового расширения, а также действующие на него распределенные нагрузки и температура должны быть постоянны.

Для пластинчатого элемента должны быть постоянны толщина, модуль упругости, коэффициент Пуассона, распределенные нагрузки и температура.

Динамические характеристики упругой системы «заготов-

ка — приспособление» оценивают по ее динамической модели сопоставлением частот возмущающих усилий и частот собственных колебаний. Резонансные явления имеют место при совпадении этих частот. По сложности динамической модели возможны одномерные, двумерные и пространственные колебания.

Таким образом, специализированное программное обеспечение САПР зажимных приспособлений из элементов УСПО содержит программы расчета усилий резания и зажима (с оптимизацией мест их приложения), погрешностей базирования, погрешностей закрепления, контактных деформаций, деформаций заготовки и динамических характеристик. Кроме того, необходимы специальные программы машинной графики (например, графическая проверка доступности режущего инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям заготовки).

### **Вопросы для самопроверки**

1. Почему своевременное оснащение технологических процессов станочными зажимными приспособлениями является важнейшей задачей производства машин?
2. От чего зависит возможность и целесообразность создания САПР станочных зажимных приспособлений?
3. Какие функции выполняет САПР зажимных приспособлений для ГПС?
4. Чем объясняется актуальность автоматизации проектирования зажимных приспособлений для ГПС?
5. По каким признакам набор конструктивных элементов УСПО соответствует требованиям к зажимным приспособлениям ГПС?
6. Что входит в состав программного обеспечения САПР зажимных приспособлений?
7. Какие теоретические предпосылки использованы при создании САПР зажимных приспособлений для ГПС?
8. В связи с чем классификации обрабатываемых заготовок, схем их базирования и закрепления приняты в качестве основы при синтезе конструкций приспособлений в условиях САПР?
9. Какие показатели качества компоновок приспособлений из элементов УСПО определяются как статические?
10. Какие показатели качества компоновок приспособлений из элементов УСПО определяются как динамические?



### 6.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

Гибкая производственная система (ГПС) представляет собой совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени. Любая ГПС обладает свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

Роботизированный технологический комплекс (РТК) состоит из единицы технологического оборудования, промышленного робота и средств оснащения (устройств накопления, ориентации и поштучной выдачи изделий). РТК может функционировать автономно, осуществляя многократно циклы обработки. Если РТК предназначены для работы в составе ГПС, то они должны иметь автоматизированную переналадку и возможность встраивания в систему.

Гибкий производственный модуль (ГПМ) — это единица технологического оборудования для производства изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик, автономно функционирующая, автоматически осуществляющая функции, связанные с производством изделий, и имеющая возможность встраивания в ГПС.

В общем случае в систему обеспечения функционирования ГПС входят: АТСС — автоматизированная транспортно-складская система, АСИО — автоматизированная система инструментального обеспечения, САК — система автоматизированного контроля, АСУО — автоматизированная система удаления отходов, АСУ ТП — автоматизированная система управления технологическими процессами, АСНИ — автоматизированная система научных исследований, САПР — система автоматизированного проектирования, АС ТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства.

По организационным признакам можно выделить три разновидности ГПС: ГАЛ, ГАУ и ГАЦ.

1. В гибкой автоматизированной линии (ГАЛ) технологическое оборудование расположено в принятой последовательности технологических операций.

2. Гибкий автоматизированный участок (ГАУ) функционирует по технологическому маршруту, в котором предусмотрена

возможность изменения последовательности использования технологического оборудования.

3. В состав гибкого автоматизированного цеха (ГАЦ) входят в различных сочетаниях гибкие автоматизированные линии, роботизированные технологические линии, гибкие автоматизированные участки и роботизированные технологические линии и участки для производства изделий заданной номенклатуры.

Таким образом, ГПС — это организационно-техническая производственная система, позволяющая в условиях мелкосерийного, серийного и в отдельных случаях крупносерийного многономенклатурного производства заменить с минимальными затратами и в короткий срок выпускаемую продукцию на новую.

В структуре типовой ГПС необходимы три группы компонентов: технологическая, управления и подготовки производства. Каждая из указанных групп компонентов, образующих соответствующую систему (или подсистему), является человеко-машинной, в которой наиболее трудоемкие функции выполняются входящими в систему средствами вычислительной техники, а творческие функции — конструкторами, технологами и организаторами производства, работающими на АРМ.

Технологическая система представляет собой совокупность основного и вспомогательного технологического оборудования и реализованного на нем технологического производственного процесса, который может быть механообрабатывающим, сборочным, литейным, кузнечно-прессовым, сварочным, гальваническим и т. д. Производственные функции выполняются с помощью специфических для каждого вида производства технических средств, построенных на модульной основе. При этом решаются следующие задачи: комплектация, складирование, транспортирование и промежуточное накопление исходного материала, заготовок, полуфабрикатов и технологической оснастки; обработка и сборка объектов производства; контроль заготовок, полуфабрикатов и готовой продукции; контроль параметров технологического процесса и состояния инструмента; уборка отходов производства (стружки, облоя, литников); подача вспомогательных материалов (смазочного материала, охлаждающей жидкости, формовочных материалов).

Система управления ГПС — это многофункциональная иерархически организованная система. Она реализует функции управления технологическим процессом и оборудованием, оперативного и долгосрочного планирования, учета хода производства и обеспеченности производства всеми необходимыми средствами, контроля и диагностирования работы ГПС, подготовки и передачи производственной информации в смежные управляющие системы и службы предприятия.

Система подготовки производства выполняет в полном объеме или частично функции САПР и АС ТПП.

Производственная гибкость ГПС определяется технологической, структурно-организационной и параметрической гибкостью. При этом под гибкостью понимают приспособляемость ГПС к изменениям, связанным с выполнением производственной программы. Производственная система считается гибкой и быстроперенастраиваемой без существенных

затрат, если при изменении объектов производства не меняется состав компонентов системы и состав информационных связей.

Технологическая гибкость может быть оценена коэффициентом запуска нового изделия, показывающего, во сколько раз затраты на запуск очередного изделия в условиях ГПС меньше, чем при обычной технологии. Технологическая гибкость характеризуется номенклатурой изделий и переналаживаемостью оборудования, режущего инструмента и оснастки.

Структурно-организационная гибкость в значительной мере определяет структуру ГПС, вариантность выбора последовательности обработки, возможность выполнять обработку на другом оборудовании при выходе из строя какого-либо станка или устройства, возможность наращивания ГПС на основе модульного принципа. При выборе структуры ГПС обычно приходится принимать компромиссное решение, так как возникает противоречие между стремлениями максимально загрузить оборудование и обеспечить минимальный производственный цикл. Структурно-организационная гибкость в наибольшей степени обеспечивается интеграцией ГПС, САПР, АС ТПП и АСУП, а также унификацией заготовок, режущего инструмента и оснастки.

Гибкость ГПС отражает также способность системы сохранять в заданных пределах основные параметры (производительность, экономическую эффективность, надежность и точность функционирования и др.) при переходе из одного устойчивого состояния в другое в соответствии с заданной целью — изменением объекта производства. Поэтому можно ввести понятие параметрической (т. е. динамической) гибкости, которая характеризуется показателями переходного процесса в ГПС. К таким показателям относятся время, скорость и точность перехода ГПС в новое устойчивое состояние.

Анализ динамических показателей ГПС позволяет рассматривать гибкость как свойство, обеспечивающее наилучшее качество переходного процесса и поддержание нового состояния в условиях изменения номенклатуры изделий или вывода из работы функциональных компонентов ГПС.

Как динамическую техническую систему ГПС можно характеризовать в математической форме входной и выходной функциями, внешним возмущением и временем переходного процесса. Передаточная функция при изменении цели или объекта производства отражает интенсивность изменения выходной функции системы в зависимости от задаваемой цели. Передаточная функция по внешним воздействиям определяет устойчивость системы к внешним возмущениям в установившемся режиме. Физический смысл запаса устойчивости системы заключается в установлении предельных параметров изделий, при которых их обработка и сборка возможны без дополнительной переналадки или изменения состава компонентов ГПС.

Под организационно-производственной структурой ГПС механообработки понимают: заданную номенклатуру обрабатываемых изделий, программу производства и возможные варианты технологического процесса изготовления каждой партии изделий; организационный тип производства; качественный и количественный состав основ-

ного (технологического) и вспомогательного (транспортного, накопительного, манипулирующего, контролирующего и т. д.) оборудования; компоновку и размещение оборудования, структуру материальных потоков; стратегию управления системой в целом и отдельными ее элементами.

Проектирование организационно-производственной структуры ГПС заключается в принятии решений по каждому из указанных пунктов. Сложность этой проблемы состоит в многовариантности ее решений, которая возникает из-за большого количества допустимых сочетаний различных технологических процессов не только для разных, но и для одинаковых типов деталей, из-за возможности использования различного оборудования. Эти обстоятельства становятся особенно существенными, если учесть высокую стоимость каждой ГПС и, соответственно, те убытки, которые приносят недостаточно обоснованные проектные решения.

На рис. 6.1 приведена укрупненная схема организации проектирования структуры ГПС (все этапы проектирования допускают автоматизацию на базе математического моделирования и широкого применения средств вычислительной техники).

На этапах предпроектных исследований и составления технического задания, заканчивающихся предварительным экономическим исследованием, технологический процесс и состав оборудования точно не определены; при этом многократно повторяются расчеты по проверке и сопоставлению различных вариантов. Исходные данные для расчетов задаются приближенно в виде предварительных (экспертных) оценок или по аналогии с близкими по типу производствами.

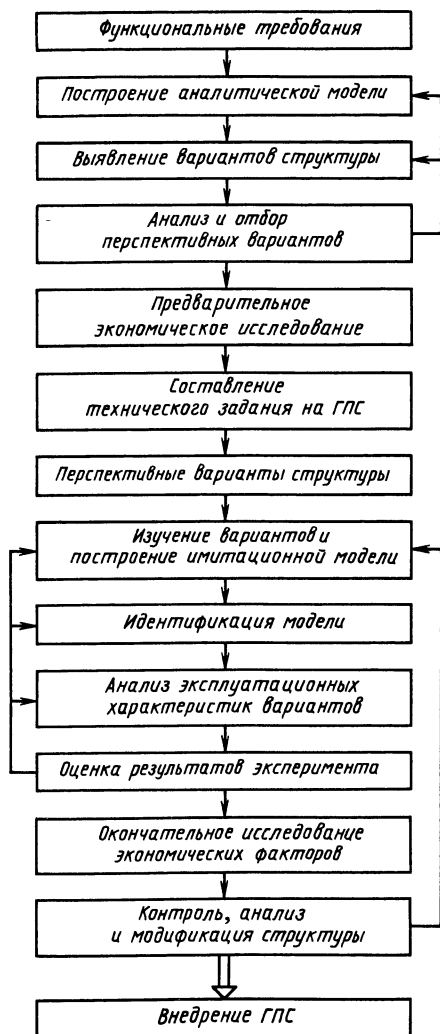


Рис. 6.1. Схема организации проектирования структуры ГПС

Так как детализация исходных данных на этих этапах проектирования еще невелика, то в расчетах используют главным образом аналитические модели, которые создаются с помощью уравнений баланса потребных и имеющихся мощностей оборудования или с помощью статистических методов теории массового обслуживания. К достоинствам таких моделей относят доступность понимания их содержания, небольшой объем вводимой информации, невысокие требования к ее точности и малые затраты времени ЭВМ на каждое решение. Естественно, точность моделирования не превышает точности исходных данных.

В моделях баланса мощностей оборудования обычно считают заданными допустимые диапазоны значений нормативов времени на обработку деталей и эффективные фонды времени работы предполагаемого оборудования ГПС. С этими данными могут быть сформулированы различные задачи. Например: определить программу выпуска деталей при заданной структуре оборудования; определить потребное количество оборудования каждого типа, необходимое для выполнения заданной программы производства; выбрать вариант закрепления оборудования для выполнения конкретных технологических операций и т. д.

Модель баланса мощностей оборудования может быть представлена в форме равенства. Тогда она представляет собой алгебраическое уравнение, и решение находится обычными алгебраическими методами. Если эта модель представлена системой неравенств, то она дополняется целевой функцией, и рассматривается задача нахождения оптимального решения.

Методы теории массового обслуживания дают возможность учесть среднестатистически динамику поведения производственной системы. Получаемые модели называют моделями сетей очереди, в которых ГПС рассматривается как множество рабочих станций с циркулирующими между ними заявками на обслуживание. Пропускная способность транспортной системы считается неограниченной. Заявки представляют собой отдельно взятые детали или партии деталей, которые образуют очереди к рабочим станциям. Движение деталей в производстве характеризуется: математическим ожиданием числа обработанных деталей в единицу времени; среднестатистическим количеством деталей в очереди к каждой рабочей станции; математическим ожиданием времени обслуживания одной заявки, которое принимается за среднюю длительность цикла обработки детали; объемом незавершенного производства.

Точность моделирования сетями очередей выше, чем балансовыми методами. Однако математический аппарат существенно сложнее.

Итак, на рассматриваемых этапах проектирования структуры ГПС предварительные расчеты позволяют достаточно быстро сделать оценку нескольких вариантов структуры, отобрать из них перспективные для дальнейших исследований, выявить узкие места и приближенно определить их влияние на важнейшие характеристики системы, оценить усредненные потребности в ресурсах.

Эти результаты предоставляют возможность на этапах окончательного проектирования с достаточной точностью выбрать оптимизированные варианты структуры ГПС. К этому моменту в результа-

те предварительных исследований уже отобраны один или несколько наилучших вариантов организационно-производственной структуры проектируемой системы. Для каждого из них определены типы станков, средства транспортировки и их ориентировочные характеристики. Теперь возможно построение и м и т а ц и о н н ы х моделей с высоким уровнем детализации.

Моделирование рабочих станций детализируется до уровня отдельных станков, промышленных роботов, манипуляторов, накопителей, позиций загрузки и разгрузки. Транспортировка деталей и оснастки описывается с точностью до различий во времени доставки их к различным рабочим станциям. В модель включаются все имеющиеся ограничения (количество сменных палет для установки деталей, объемы накопителей, особенности управления транспортом и т. д.).

Имитационное моделирование заключается в разработке таких программ для ЭВМ, которые содержат описание физических объектов ГПС и правил их поведения во всех возможных ситуациях. Эти программы — аналог ГПС и их можно использовать при проведении экспериментов вместо самих объектов. Результаты будут соответствовать действительности в той мере, в какой имитационная модель адекватна физической реальности.

Имитационные модели позволяют практически с любой точностью воспроизвести динамику поведения ГПС, включая переходные процессы. К достоинствам таких моделей следует отнести также возможность анализа взаимодействия между оборудованием ГПС и ее системой управления, возможность определения необходимого количества инструмента, оснастки и возможность решения других подобных задач, сложных при аналитическом представлении.

Высокая стоимость разработки имитационных моделей привела к необходимости создания стандартного программного обеспечения имитационного моделирования ГПС. Наиболее распространенными являются проблемно ориентированные и м и т а т о р ы модульного типа. Начались разработки универсально-модульных имитационных систем.

## 6.2. МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ ГПС

Основное технологическое оборудование определяет технологическое назначение ГПС. Заготовительное производство в условиях ГПС может быть либо автономным, либо связанным с механообработкой и даже сборкой. Взаимосвязь технологического процесса получения заготовок с основными этапами подготовки производства и изготовления деталей машин иллюстрирует обобщенный алгоритм на рис. 6.2. Производство заготовок должно быть гибким в силу своей специфики, так как оно должно обеспечивать получение заготовок в любом количестве и в любое время по требованиям многочисленных других производств. Совершенствование организации и повышение технологического уровня заготовительного производства имеет исключительно важное значение, так как до 70 % себестоимости многих изделий машиностроения составляет стоимость материалов (и прежде всего металлов). Между тем на многих предприятиях около четверти потребляемого металла идет в отходы.

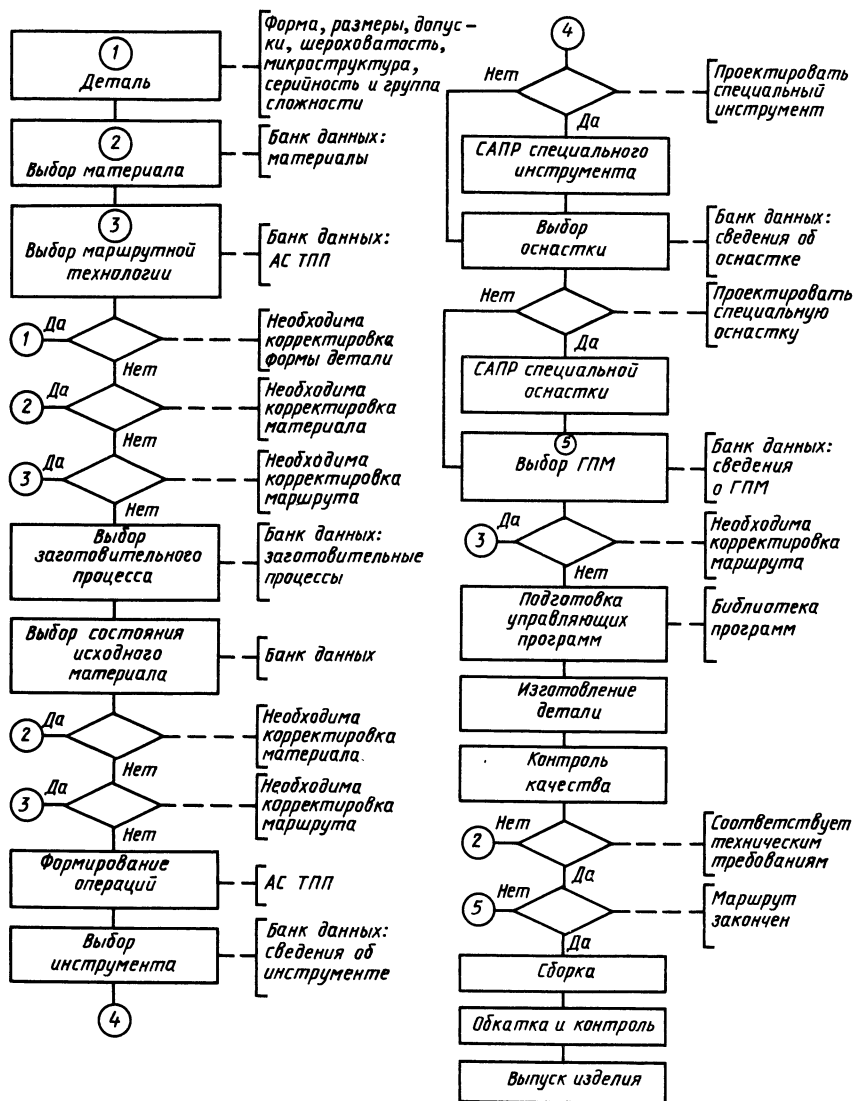


Рис. 6.2. Алгоритм решения технологических задач изготовления деталей машин

Возможность разработки гибкого производства заготовок подготовлена созданием прессов, молотов, литейных машин, сварочного и газорезательного оборудования, станков для лазерной технологии и другого оборудования с ЧПУ, развитием робототехники, микропроцессорной техники и групповых методов в технологии.

Важнейшая концепция создания ГПС заготовок заключается в комплексности и модульности их структуры. Требование комплексности

заключается в возможности проводить различные технологические процессы комплексно на одном и том же рабочем месте одновременно, предусматривая различные сочетания основного и вспомогательного процессов. Требование модульности структуры означает целесообразность разработки таких элементов, которые позволяют компоновать необходимые ГПМ в соответствии с требуемыми технологическими процессами. В этом случае отпадает необходимость разрабатывать для каждой ГПС оригинальное оборудование и программное обеспечение для изготовления большой номенклатуры изделий малыми партиями.

Большинство заготовительных цехов имеют многономенклатурное серийное и мелкосерийное производство, что создает трудности в применении прогрессивных методов формообразования заготовок и средств автоматизации. В то же время именно такого характера производство особенно нуждается в создании ГПС. Проблема решается разделением заготовок по групповому принципу на основе конструкторско-технологических признаков и адекватности технологических процессов. Для комплексной заготовки, представляющей группу заготовок, разрабатывается технологическая оснастка, которая обеспечивает быструю переналадку при переходе от изготовления одного типа заготовок к другому.

Классификация процессов формообразования заготовок для деталей машиностроения представлена на рис. 6.3. Эти процессы подразделяют на два принципиально различных вида. К первому виду относят процессы с изменением агрегатного состояния  $A$  исходного материала путем плавления ( $A \rightarrow var$ ) и с последующей консолидацией (упрочнением) первич-

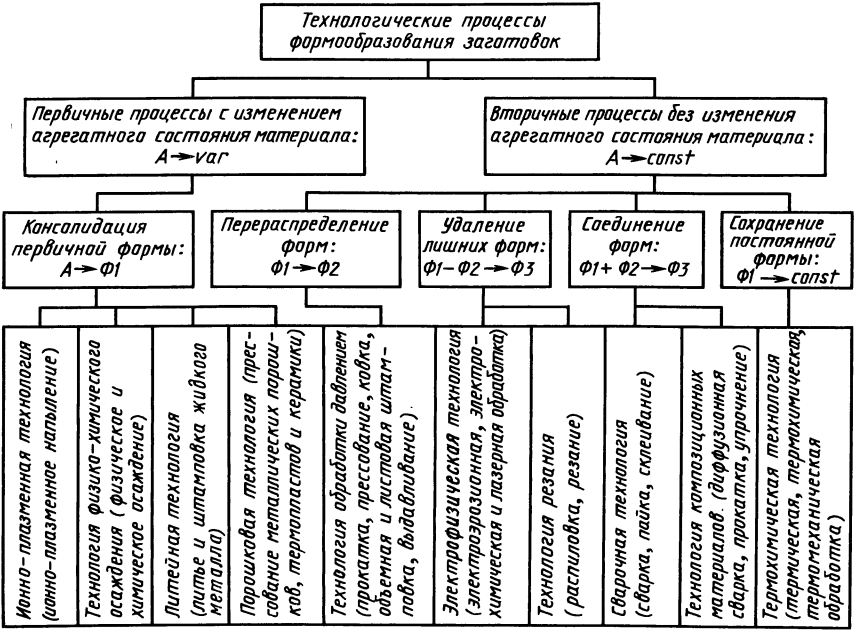


Рис. 6.3. Классификация процессов формообразования заготовок



ной формы  $\Phi 1$  ( $A \rightarrow \Phi 1$ ). Ко второму виду относят процессы без изменения агрегатного состояния исходного материала ( $A \rightarrow \text{const}$ ), в которых формообразование достигается перераспределением форм ( $\Phi 1 \rightarrow \Phi 2$ ), соединением форм ( $\Phi 1 + \Phi 2 \rightarrow \Phi 3$ ), удалением лишних форм ( $\Phi 1 - \Phi 2 \rightarrow \Phi 3$ ) и сохранением формы ( $\Phi 1 \rightarrow \text{const}$ ).

В таких первичных процессах, как ионно-плазменное напыление, физико-химическое осаждение, литье, штамповка жидкого металла, пресование металлических порошков, термопластов и керамики, исходный материал не имеет формы. При обработке металлов давлением формообразование достигается перераспределением объемов (форм) путем пластической деформации исходного металла. В процессах резания и электрофизической технологии необходимая форма заготовки получается удалением лишнего материала. В сварочных процессах и процессах получения композиционных материалов формообразование достигается соединением объемов исходного материала, имеющего первичную форму. При термохимической обработке изменение геометрической формы заготовок не предусматривается.

Организация группового производства заготовок в условиях ГПС включает следующие этапы: унификацию габаритных размеров, конструктивных элементов (отверстий, углублений и т. п.), форм и материалов деталей; классификацию поковок, штампованных заготовок, отливок, сварных заготовок и т. д.; выделение комплексных заготовок и групповых технологических процессов для них; выбор, проектирование и изготовление оснастки; выбор оборудования и средств автоматизации; планирование группового производства.

Например, при организации группового производства отливок необходимо учитывать: качество отливок и их себестоимость; поверхность разъема литейной формы; систему съема отливок; унификацию машинных методов формовки, выбивки, очистки; унификацию конструкций литниковой системы; унификацию и стандартизацию оснастки на всех этапах технологического процесса и многую другую информацию. Выделяют классы, подклассы и типы литых деталей.

При решении задач, связанных с назначением рационального процесса гибкого производства заготовок, необходимо из всех возможных решений выбрать приемлемое для заданных условий. Зависимости между решениями и условиями обычно имеют неявный характер. Все условия (геометрия заготовки, допуски и шероховатость поверхностей, производительность процесса, приведенные затраты на изготовление заготовки и т. д.) могут быть независимыми друг от друга или частично взаимосвязанными. Количество комбинаций условий может быть большим. Поэтому связи между решениями и условиями удобно представлять в виде таблицы соответствия, в которой существование решения для заданного условия обозначается 1 в пересечении соответствующих столбца и строки, а отсутствие обозначается 0. Подсчет числа баллов по столбцам показывает рациональное решение. Таблицы соответствия разрабатывают на основе обобщенных данных научных исследований, производственного опыта и экспертных оценок специалистов. Эти таблицы формируются банком данных ЭВМ.

Для создания ГПС в заготовительном производстве необходимо выполнить: обоснование целевой установки на гибкое производство; разработку организационно-производственной структуры (см. разд. 6.1); выбор или разработку основного и вспомогательного оборудования с определенным уровнем автоматизации, обратив особое внимание на обеспечение необходимой загрузки оборудования; выбор средств автоматического контроля обработки и состояния инструмента; совершенствование средств транспортирования, хранения и учета исходного материала, инструмента и заготовок; выбор средств вычислительной техники, построение на ее основе системы управления и разработку методического, лингвистического, математического, программного, информационного и организационного обеспечения; обучение обслуживающего персонала.

С целью ускорения технического прогресса на современном этапе развития техники и технологии заготовительного производства в настоящее время внимание конструкторов и технологов сосредоточено на разработке нового, ориентированного на работу в составе ГПС, оборудования с ЧПУ. Примеры такого оборудования рассмотрены в разд. 7.1.

### **6.3. ГПС ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ**

ГПС для механической обработки деталей могут охватывать как отдельные операции технологических процессов, так и всю механообработку комплексно. Соответственно ГПС механообработки подразделяют на операционные и комплексные.

Операционные ГПС создают на базе работающих на предприятиях и серийно выпускаемых станков с ЧПУ для отдельных видов технологических операций: токарных, фрезерных, шлифовальных, зубообрабатывающих, расточных и т. д. В таких системах станки с ЧПУ оснащаются промышленными роботами, накопителями деталей и управляющими вычислительными комплексами.

Комплексные ГПС создают либо на базе типовых разработок, имеющих во многих отраслях машиностроения, либо в качестве специальных разработок для отдельных видов изготавливаемых деталей: для деталей типа тел вращения, корпусных деталей, зубчатых колес и т. д. В этом случае имеются более широкие возможности по применению прогрессивных технологических процессов высокоскоростной механообработки, высокопроизводительных ГПМ, новых конструктивных решений и организационно-производственных структур.

Рассмотрим примеры построения комплексных ГПС. На рис. 6.4 показан вариант компоновки ГПС для обработки деталей типа тел вращения примерно 50 наименований. Детали поступают на обработку партиями от 25 до 100 шт. Заготовками для них служат поковки и отрезанные прутки сортового проката из стали, чугуна и алюминиевых сплавов.

На ГПС выполняют точение и нарезание резьб резцами; сверление,зенкерование и развертывание координатных отверстий по торцовой и наружным цилиндрическим поверхностям деталей; нарезание в коорди-

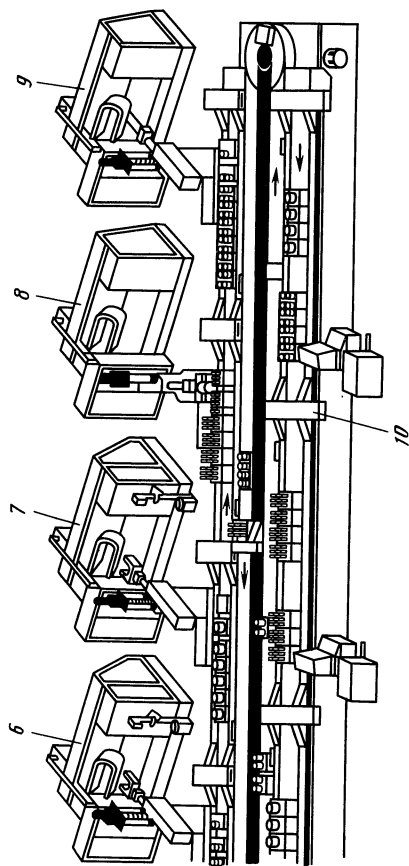
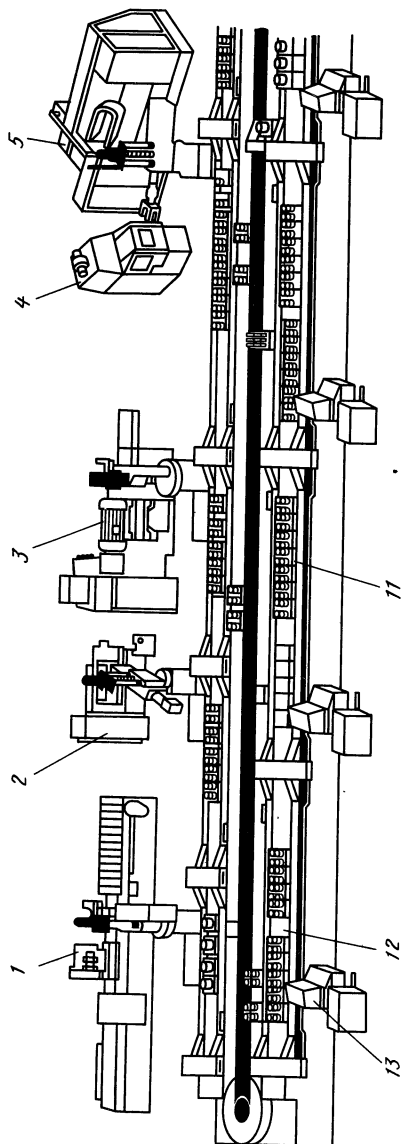


Рис. 6.4. ГПС для обработки деталей типа тел вращения:  
 1 — протяжной модуль; 2 — шлифцилиндрный модуль; 3 — круглошлифовальный модуль; 4 и 5 — модуль нарезания зубчатых колес; 6...9 — токарные модули; 10 — переключки; 11 — палеты с заготовками и обработанными деталями; 12 — внешние конвейеры; 13 — терминалы

натных отверстиях резьбы метчиками; фрезерование плоскостей, поверхностей и пазов; шлифовальные операции; протягивание; нарезание зубьев и шлицев. В состав ГПС входят ГПМ 1...9, каждый из которых обслуживается своим роботом. Модуль для нарезания зубчатых колес объединяет зубофрезерный станок 4 и станок 5 для снятия фасок на зубьях.

Детали, требующие выполнения операций типа фрезерных и сверлильных, обрабатывают на токарных многоцелевых модулях, совмещающих эти операции с токарными. Указанные модули имеют инструментальную револьверную головку на 12...16 инструментов, часть из которых получают в рабочей позиции вращательное движение от отдельного электропривода. Токарный шпиндель таких модулей имеет позиционное управление.

Транспортно-накопительная система состоит из одного внутреннего конвейера и двух внешних. По внутреннему конвейеру перемещаются свободные палеты. На внешних конвейерах 12 находятся палеты 11 с заготовками и обработанными деталями, которые ждут своей очереди либо на обработку в одной из рабочих зон модулей, либо на смену заготовок. Передача палет между конвейерами осуществляется специальными переключателями 10. Внешние конвейеры имеют восемь зон, в которых заготовки с помощью роботов передаются на станочные модули для механообработки, и шесть зон загрузки-выгрузки палет.

С каждой из шести зон загрузки-выгрузки предусмотрен терминал 13 с дисплеем. Оператору передается информация о заготовках, которые должны быть уложены на палеты. В свою очередь, оператор передает в ЭВМ информацию о выполнении операций загрузки-выгрузки. Палеты с заготовками остаются в зонах загрузки-выгрузки до тех пор, пока не освободится место в рабочей зоне одной из начальных технологических операций.

Для идентификации палеты кодируются с помощью специальных пластин. В каждой из четырнадцати зон имеются датчики идентификации. Детали типа дисков располагаются на палетах штабелем, а детали типа валов — вертикально в дополнительных приспособлениях.

Управляюще-вычислительный комплекс ГПС расположен в отдельном помещении. Станочные модули и роботы оснащены процессорными системами ЧПУ. Система управления транспортом содержит программируемый контроллер. Технологический маршрут перемещения заготовок начинается ЭВМ.

Рассматриваемую ГПС обслуживают три оператора, в функции которых входит работа с терминалами, прием заказов на поступающие в обработку детали и ввод в ЭВМ соответствующих исходных данных, наблюдение за ходом технологических процессов, загрузка заготовок на палеты, замена режущего инструмента на модулях при переналадке. Сигналы о необходимости смены инструмента в связи с его износом или изменением технологического процесса, а также все сопроводительные указания выдаются оператору ЭВМ. Контроль ресурса режущего инструмента осуществляется автоматически подсчетом числа обработанных заготовок.

На рис. 6.5. показана планировка ГПС также для обработки дета-

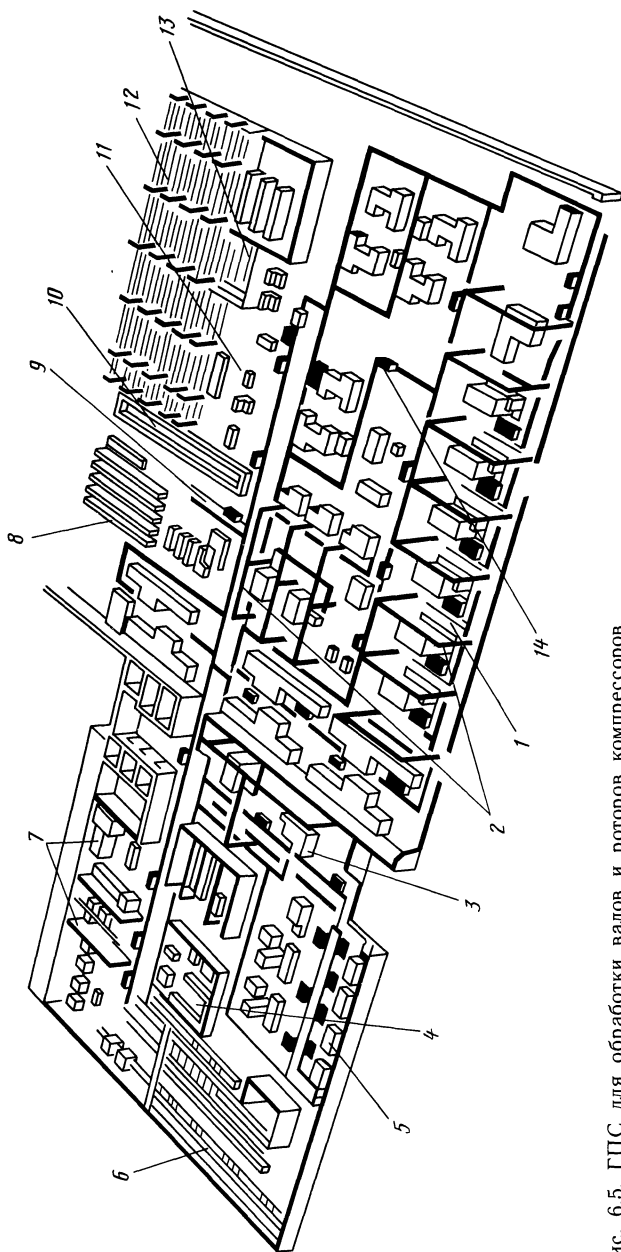


Рис. 6.5. ГПС для обработки валов и роторов компрессоров турбин:

1 — участок механической обработки, 2 — ПР портального типа; 3 — участок электронной сварки; 4 — рентгеновская установка для контроля сварочных швов; 5 — оборудование для сборки; 6 — секция удаления стружки; 7 — участок термообработки; 8 — инструментальный склад с оборудованием размерной настройки инструмента; 9 — место загрузки заготовок на робокары; 10 — конвейер; 11 — зона установки заготовок в приспособления; 12 — автоматизированный склад заготовок и обработанных деталей; 13 — управляюще-вычислительный комплекс; 14 — робокары

лей типа тел вращения, но с более широкими технологическими возможностями. Эта ГПС предназначена для обработки валов и роторов компрессоров газовых турбин авиационных двигателей. В состав системы входят: восемь токарных модулей, имеющих горизонтальную компоновку с роботами портального типа; токарный модуль вертикальной компоновки; пятикоординатный многоцелевой токарный модуль; два протяжных станка; оборудование для сварки электронным лучом, контроля сварочных швов (рентгеновская установка), очистки, закалки и выполнения сборочных операций; участок настройки режущего инструмента; оборудование автоматизированной транспортно-складской системы; управляюще-вычислительный комплекс.

С вводом ГПС в эксплуатацию сведено к минимуму использование высококвалифицированных рабочих-станочников, выработка изделий на одного рабочего возросла в 1,5 раза. Примерно в 1,5 раза уменьшился объем незавершенного производства.

Для облегчения решения проблемы организации производства и комплектной поставки ГПС машиностроительным предприятиям в нашей стране разработаны типовые компоновки ГАУ при обработке деталей типа тел вращения (модели АСВ) и при обработке корпусных деталей (модели АСК). Под типовыми компоновками участков понимаются системы, состоящие из 4...12 станочных модулей с определенным расположением основного и вспомогательного оборудования, типовым набором средств вычислительной техники и типовыми системами управления. Для каждого потребителя разрабатывается с использованием типовых решений конкретный проект ГАУ, учитывающий необходимые модели ГПМ и их количество, параметры накопителей и транспортно-складской системы, особенности производственного помещения.

ГАУ мод. АСВ-26 (рис. 6.6) предназначен для механической обработки 50 наименований 250 типоразмеров деталей станков в условиях мелкосерийного производства. Наибольшие размеры деталей: диаметр 570 мм, длина 345 мм; масса деталей до 100 кг; размер партии запуска деталей от 15 до 55 шт.; годовой выпуск 60 000 шт.

Простейшая компоновка ГАУ типа АСК приведена на рис. 6.7. ГАУ предназначен для черновой и чистовой механообработки 50 наименований корпусных деталей станков в условиях мелкосерийного и серийного производства. Наибольшие размеры деталей  $400 \times 400 \times 400$  мм массой до 300 кг. Размер партии запуска деталей от 10 до 100 шт. при годовом выпуске, равном примерно 8000 деталей. Станочные модули ГАУ выполняют операции растачивания точных координатных отверстий, фрезерования плоскостей и сложных поверхностей, сверления, зенкерования, развертывания, резьбонарезания и т. п. Таким образом, на ГАУ типа АСК возможна комплексная многосторонняя обработка корпусных деталей любой сложности.

Требование производственной гибкости — одно из основных для ГПС механообработки, так как определяет область эффективного применения типовых ГПС. Создание ГПС в условиях мелкосерийного производства деталей широкой номенклатуры является технически более сложной проблемой, чем создание ГПС для изготовления деталей огра-

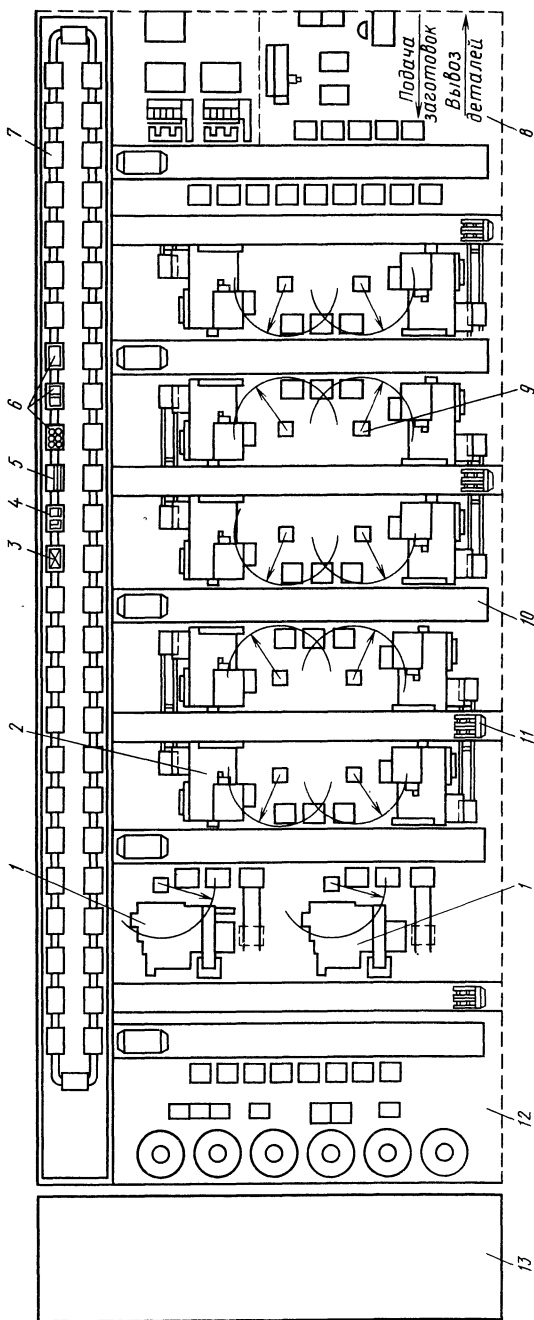


Рис. 6.6. Компоновка ГАУ модели АСВ:

1 — многоцелевые сверлильно-фрезерно-расточные модули; 2 — токарные патронные модули (10 шт) повышенной точности; 3 — емкость для стружки; 4 — приспособление-спутник для оснастки токарных модулей; 5 — приспособление-спутник для многоцелевых модулей; 6 — поддоны с заготовками и деталями; 7 — автоматизированная транспортно-складская система; 8 — секция приема-сдачи деталей и ОТК; 9 — ПР; 10 — ПР; 11 — зоны манипулирования самоходных тележек; 12 — отделение сборки, наладки и наладки инструмента с инструментальным складом; 13 — управляюще-вычислительный комплекс

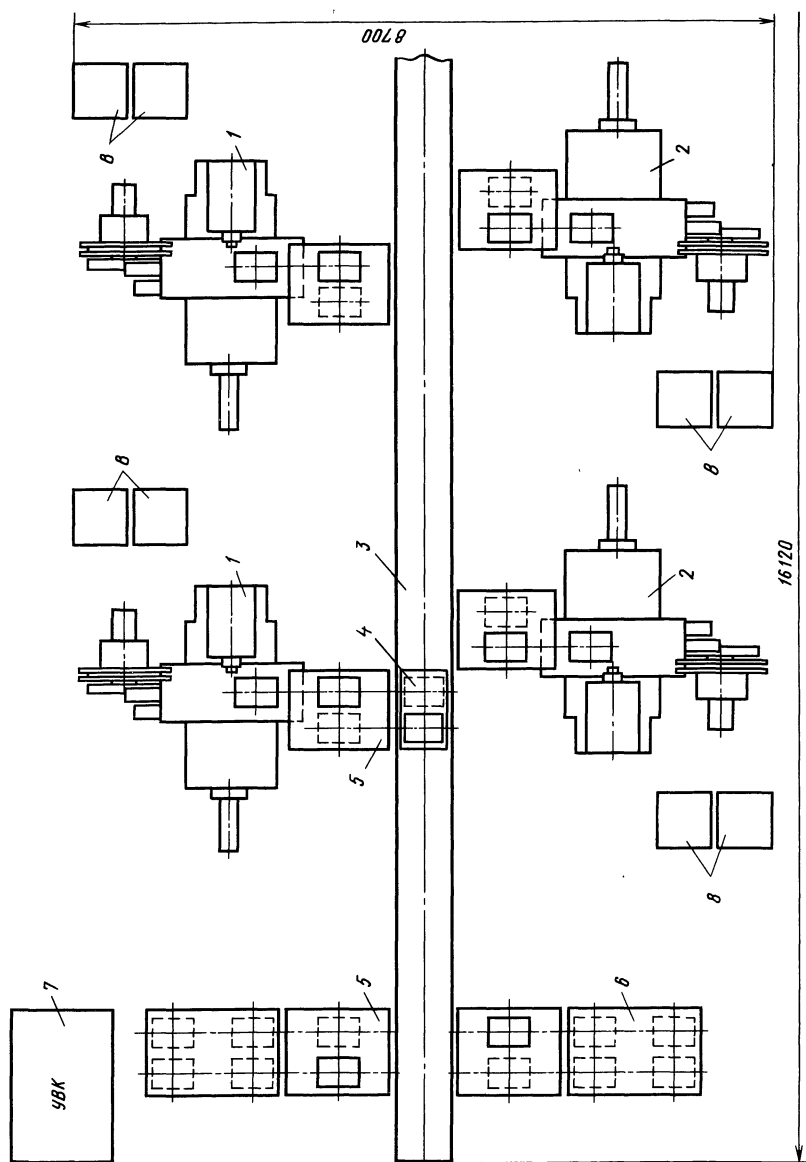


Рис. 6.7. Компонировка ГАУ модели АСК:

1 и 2 — многоцелевые сверильно-фрезерно-расточные модули разных типоразмеров; 3 — рельсовый путь; 4 — транспортная тележка; 5 — манипулятор; 6 — вертикальный накопитель спутников цепного типа; 7 — управляюще-вычислительный комплекс; 8 — системы ЧПУ модулей



ниченной и тем более малой номенклатуры в условиях серийного и крупносерийного производства. При производстве деталей относительно широкой номенклатуры требуется более сложное быстроперенастраиваемое оборудование с широкими технологическими возможностями, более развитые система управления и программное обеспечение, совершенная система технологической подготовки производства.

Уровень автоматизации технологического оборудования ГПС для мелкосерийного производства определяется малыми партиями запуска разнообразных деталей в производство, непостоянством видов заготовок и применяемых материалов, наличием внеочередных заказов и рядом организационных особенностей. Все это существенно затрудняет оптимизацию разнообразных технологических процессов, снижает их устойчивость и надежность, затрудняет полное исключение из них человека. Автоматизировать такие операции, как контроль размеров получаемых деталей, контроль за состоянием режущего инструмента, ввод коррекций в систему управления, общий контроль за многочисленными процессами обработки и состоянием оборудования, технически сложно.

Именно поэтому в мелкосерийном производстве ГПС создают на основе станков с ЧПУ с ручной или механизированной загрузкой. Один оператор обычно обслуживает два — четыре таких полуавтомата. Доставка к рабочим местам заготовок, режущего инструмента и оснастки выполняется автоматически. Автоматизированные системы технологической подготовки производства, оперативного планирования, диспетчеризации и учета хода производства в этом случае наиболее эффективны.

В серийном производстве имеются условия для дальнейшего повышения уровня автоматизации ГПС и сведения до минимума или даже полного исключения участия человека в технологических процессах. Уменьшение номенклатуры обрабатываемых деталей и увеличение размера партии запуска позволяют более тщательно отработать и отладить технологические процессы, управляющие программы для систем ЧПУ, режущий инструмент. Эти ГПС создают на основе автоматически перенастраиваемых ГПМ. Несмотря на относительно высокую стоимость ГПМ, их применение в условиях серийного производства эффективно благодаря высокой производительности. Один наладчик может в течение дневной смены обслужить 10 и более ГПМ, которые две последующие смены будут продолжать работать в автоматическом режиме.

Для крупносерийного производства целесообразно использование гибких АЛ, состоящих из специализированных перенастраиваемых станков с многошпиндельными сменными коробками, промышленных роботов и автоматизированной транспортно-складской системы. Управление станками осуществляется от систем ЧПУ и программируемых контроллеров.

Еще одно важнейшее требование к ГПС — надежность функционирования всех подсистем и оборудования. Значимость этого требования тем выше, чем выше уровень автоматизации ГПС. Надежность ГПС определяется как свойство системы, обусловленное ее безотказностью в работе, долговечностью, ремонтопригодностью и обеспечивающее выполнение заданных функций.

Одним из косвенных вероятностных показателей безотказной работы

компонента системы является установленная безотказная наработка, т. е. среднее значение продолжительности работы между отказами. Однако повышение надежности ГПС только за счет ужесточения требований к отдельным ее компонентам в части безотказной наработки недостаточно. Не менее важными критериями являются общая долговечность (заданный технический ресурс) и ремонтпригодность. Под ремонтпригодностью понимают свойство системы, выражающееся в приспособленности к восстановлению исправности и поддержанию заданного технического ресурса путем предупреждения, обнаружения и устранения неисправностей и отказов. Ремонтпригодность количественно оценивается трудоемкостью восстановления работоспособности, т. е. затратами труда и средств на предупреждение и устранение неисправностей. Эффективным средством предупреждения неисправностей и отказов в ГПС становятся системы технического диагностирования.

В мелкосерийном производстве надежная работа ГПС обеспечивается с участием человека, контролирующего технологические процессы и работу оборудования. Операторы вносят в производственный процесс необходимые коррективы или своевременно прерывают его, не допуская опасных с точки зрения качества изделий и аварийности ситуаций.

В серийном и крупносерийном производствах большинство оборудования ГПС работает в автоматическом режиме. В этом случае необходимо автоматическое поддержание его надежной работы, так как отказы приводят к длительному простоя, особенно в безлюдные вечернюю и ночную смены. Надежность работы ГПС определяется прежде всего надежностью автоматических систем обеспечения заготовками, режущим инструментом и технологической оснасткой, их высоким качеством, безотказностью функционирования всех технических и программных компонентов, высоким качеством управляющих программ и другой управляющей информации.

ГПС не должна останавливаться и прекращать выпуск продукции при выходе из строя и останове отдельных ГПМ и даже целых подсистем. Это обеспечивается тем, что каждый ГПМ может автономно функционировать в автоматическом режиме в течение достаточно длительного времени. ГПМ может также функционировать и в полуавтоматическом режиме, например, при выходе из строя промышленного робота, измерительных устройств, транспортной системы. Наконец, при отказе управляюще-вычислительного комплекса ГПМ может продолжать работать, так как ввод и редактирование управляющих программ возможны с пульта системы ЧПУ на рабочем месте. Естественно, во всех случаях отказа компонентов ГПС ее уровень автоматизации и ее функциональные возможности резко снижаются.

Для обеспечения надежности транспортно-складской системы, которая также обычно имеет модульную структуру, предусматривается возможность управления ею как от ЭВМ, так и в полуавтоматическом и ручном режимах, возможность извлечения и доставки к ГПМ находящихся в ней заготовок, инструмента и оснастки с помощью цеховых транспортных средств.

В общем случае при внедрении ГПС имеют место следующие основ-

ные статьи экономики: прямые расходы на рабочую силу, расходы на обслуживающий персонал, транспортно-складские расходы, расходы на обеспечение качества продукции, сокращение незавершенного производства, товарных запасов и расходов на материалы.

При переходе к ГПС в 2—3 раза повышается эффективность использования оборудования, в 6—10 раз сокращается производственный цикл механообработки. Объединение автономно работающих станков с ЧПУ в ГПС позволяет поднять коэффициент загрузки станков до 0,85—0,9 по сравнению с 0,4—0,6, а коэффициент сменности их работы — до 2,5 по сравнению с 1,3—1,6.

#### 6.4. ГИБКИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ЛИНИИ

Обычно станочные автоматические линии, созданные для обработки одной конкретной детали, очень сложно использовать для обработки новой детали, даже аналогичной по конструкции. Но тенденции развития современного крупносерийного и массового машиностроительного производства связаны с резким увеличением количества модификаций выпускаемых машин и, следовательно, их деталей.

Принципиально новые средства автоматизации, появившиеся в виде ГПС, позволили создать для таких производств гибкие автоматизированные линии (ГАЛ). ГАЛ предназначены для групповой обработки нескольких заранее известных аналогичных по конструкции и технологии изготовления деталей. Они состоят из переналаживаемых агрегатных станков и станков с ЧПУ, объединенных единой автоматической транспортной системой. Станки с ЧПУ используют в таких линиях при сложных циклах обработки и при необходимости реализовать контурное управление. Технологическое оборудование ГАЛ расположено в принятой последовательности технологических операций.

Широкое распространение получили ГАЛ, создаваемые на базе агрегатных станков со сменными шпиндельными коробками для обработки корпусных деталей. На рис. 6.8 показан пример такой линии, в состав которой входят: два комплекта унифицированных узлов 1 и 6 для механообработки, две автоматически действующие секции конвейеров шпиндельных коробок 2 и 4, стеллаж 3 для складирования не используемых в заданном цикле работы шпиндельных коробок, три позиции 10 установок заготовок на зажимные приспособления-спутники, транспортная система автоматической подачи деталей со спутниками на рабочие позиции 11 и 8 (позиция 9 для промежуточного контроля деталей). Комплекты унифицированных узлов имеют силовой стол с редуктором 7 для крепления сменных шпиндельных коробок 5, устройство подачи к силовому столу шпиндельных коробок 12, набор секций конвейеров и поворотных столов. На линии используется до 28 многошпиндельных коробок, которые на спутниках транспортируются в нужный период цикла обработки к силовому узлу, где поочередно автоматически закрепляются. При переналадке новый комплект коробок загружается на конвейер со склада. При необходимости могут быть изготовлены новые

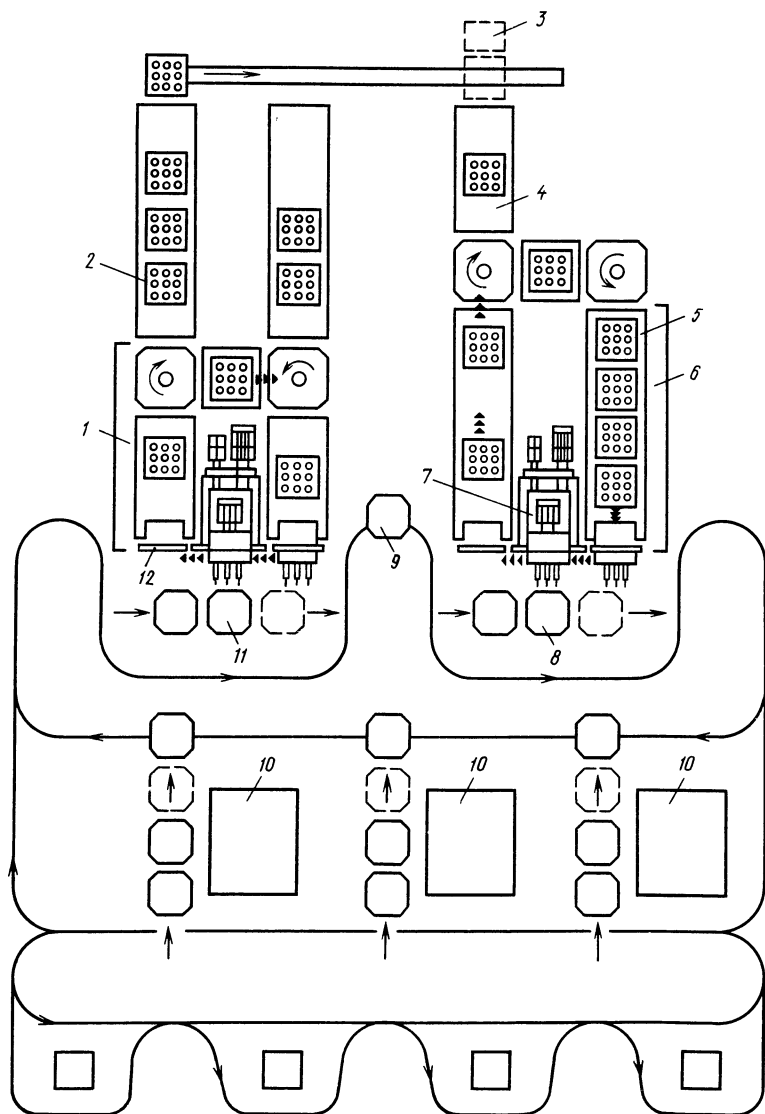


Рис. 6.8. Компоновка ГАЛ со сменными шпиндельными коробками

шпиндельные коробки и осуществлено перепрограммирование системы управления.

Все большее применение находят в ГАЛ для обработки деталей типа тел вращения и корпусных деталей агрегатные станки с ЧПУ, создаваемые из комплектов унифицированных узлов (станин, стоек, шпиндельных узлов, столов различных типов, механизмов автоматической смены

инструмента). Примеры построения компоновок агрегатных станков с ЧПУ представлены на рис. 6.9: с тремя стойками, горизонтальным расположением шпинделей, вертикальными осями вращения дисковых инструментальных магазинов и поворотного стола (рис. 6.9, а); с одной стойкой, горизонтальным шпинделем, вертикальной осью вращения магазина, горизонтальной осью вращения поворотного стола (рис. 6.9, б, в); с одной стойкой, горизонтальным шпинделем, вертикальной осью вращения магазина, наклонно-поворотным столом (рис. 6.9, г); с двумя стойками, вертикальными шпинделями, горизонтальной осью вращения магазина, вертикальной осью вращения поворотного стола (рис. 6.9, д); с двумя стойками, горизонтальными шпинделями, вертикальной осью вращения магазинов, однокоординатным столом прямолинейного перемещения (рис. 6.9, е).

Переналадка агрегатных станков с ЧПУ заключается в смене управляющей программы, зажимного приспособления и набора режущего инструмента в магазине.

На рис. 6.10 показана еще одна компоновка агрегатного станка с четырьмя многшпиндельными коробками, каждая из которых предназначена для обработки определенной корпусной детали. Станок оснащен цикловой системой программного управления. При переналадке ГАЛ на станке достаточно повернуть стол с закрепленными на нем шпиндельными коробками и сменить управляющую программу. Для новой обрабатываемой детали на свободную позицию стола устанавливается новая шпиндельная коробка, поэтому можно обрабатывать детали старой и новой модификаций.

Эффективная эксплуатация ГАЛ невозможна без диагностирования состояния оборудования, развитых систем поиска и локализации отказов. Применяют функциональные и тестовые методы диагностирования. Функциональное диагностирование выполняется при работе ГАЛ специальными встроенными средствами контроля, позволяющими оперативно реагировать на нарушения работоспособности. Тестовое диагностирование позволяет определять скрытые отказы, которые не влияют в данный момент на работоспособность оборудования ГАЛ, но их накопление приводит к снижению надежности всей системы. Тестовые методы особенно важны на режимах профилактики и наладки ГАЛ, а также при выполнении ремонтных операций.

Автоматизация диагностирования ГАЛ осуществляется с помощью управляющих ЭВМ и программируемых контроллеров, которые должны иметь: дискретные и аналоговые входы для связи с датчиками системы автоматизированного контроля; специализированный язык программирования, позволяющий строить сложные диагностические программы; развитое программное обеспечение для выполнения алгоритмов диагностирования и для вывода на экран дисплея соответствующей информации в наглядной форме.

Реальная производительность ГАЛ определяется коэффициентом технического использования, характеризующим соотношение времени производительной работы оборудования и времени его простоев при выполнении наладочных операций и восстановлении работоспособности,

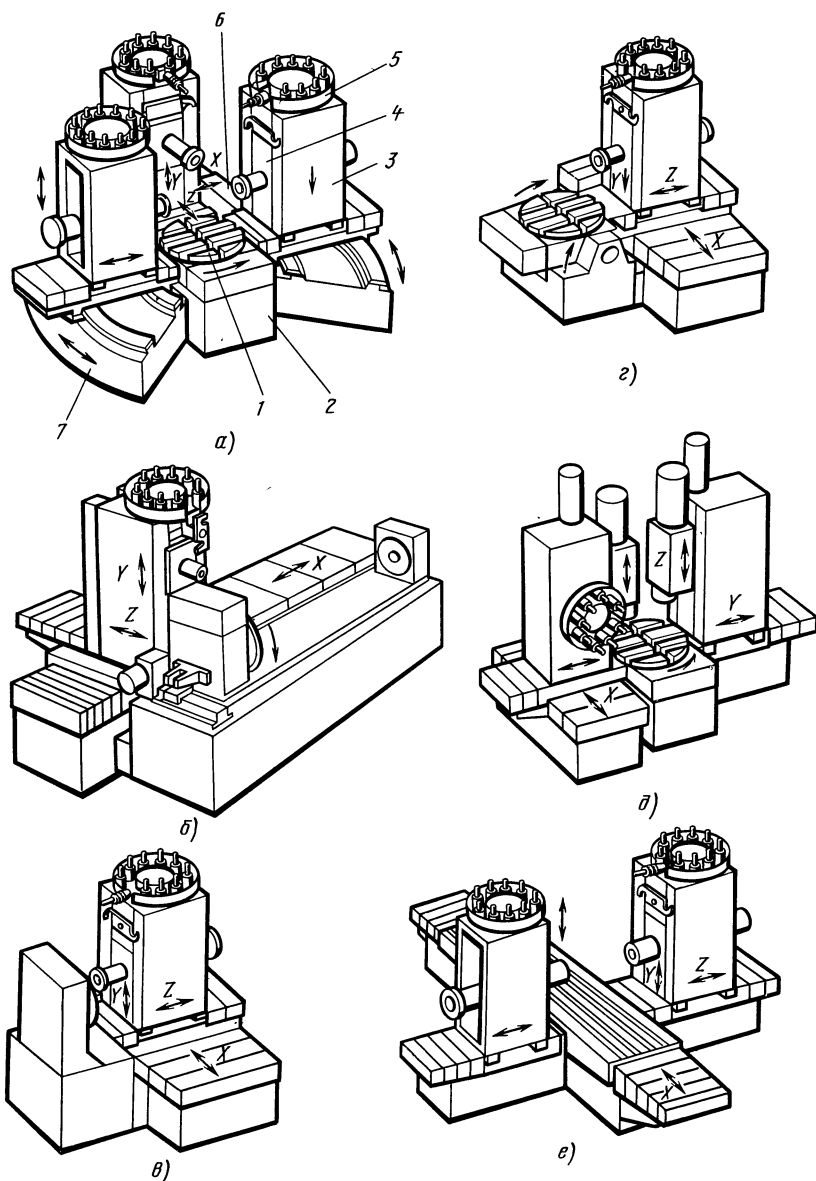


Рис. 6.9. Компоновки агрегатных станков с ЧПУ:

1 — поворотный стол; 2 — станина поворотного стола; 3 — стойка; 4 — шпиндельный узел; 5 — инструментальный магазин, 6 — стол прямолинейного перемещения; 7 — станина стойки

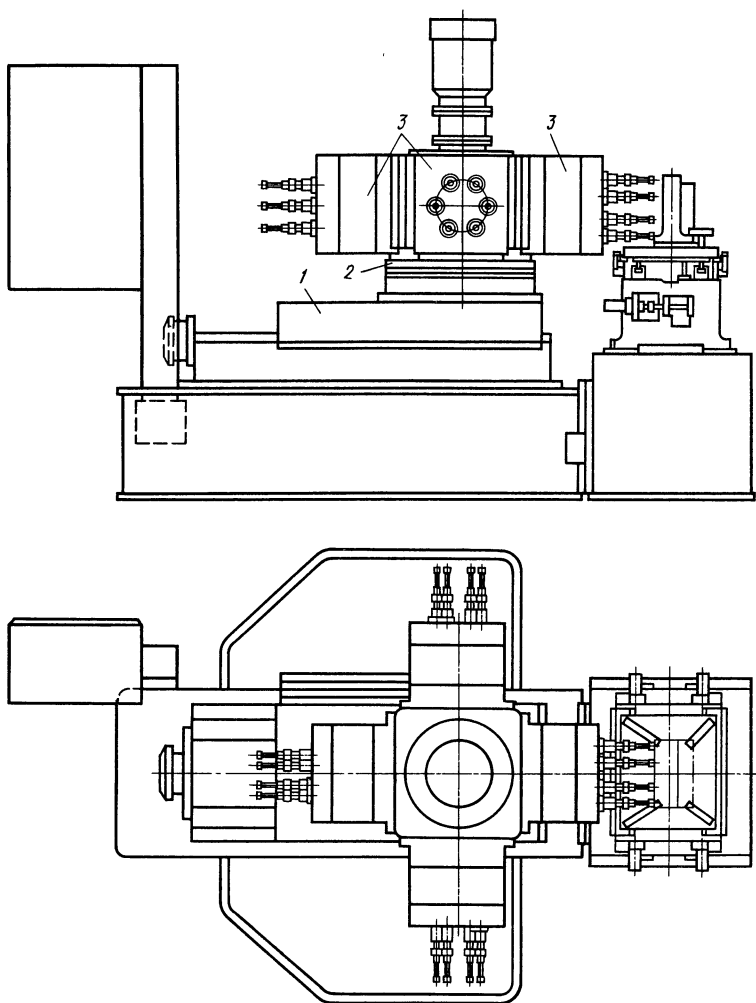


Рис. 6.10. Переналаживаемый агрегатный станок с многшпиндельными коробками:

*1* — силовой стол, *2* — поворотное устройство, *3* — многшпиндельные коробки

простоев по организационным причинам. Важнейшая задача в области дальнейшего совершенствования ГАЛ — повышение этого коэффициента, так как для большинства линий он составляет лишь 0,6—0,7.

## 6.5. УПРАВЛЕНИЕ ГПС

Управление ГПС реализует комплексные многофункциональные иерархически построенные автоматизированные системы управления (АСУ), в которых можно выделить две функциональ-

ные составные части: управления технологическими процессами (АСУ ТП) и организационно-технологического управления (АСУ ОТ). Первая решает задачи группового управления технологическим и транспортным оборудованием, а вторая — задачи планирования, диспетчеризации и учета хода производства. Обе составные части АСУ ГПС тесно взаимосвязаны между собой как аппаратными, так и программными средствами. Набор решаемых ими задач в различных ГПС может варьироваться.

АСУ ТП предназначена для выработки управляющих воздействий на комплексы (группы) основного и вспомогательного оборудования ГПС, передачи управляющих программ и другой требуемой информации в устройства локального управления (системы ЧПУ оборудования, устройства электроавтоматики), приема информации от устройств локального управления, а также для организации хранения в памяти ЭВМ библиотеки управляющих программ и всей необходимой технологической документации. Она должна обеспечивать непосредственное групповое управление металлорежущими станками, машинами заготовительного производства, сборочными и сварочными автоматами, кузнечно-штамповочным оборудованием, роботами, контрольно-измерительными установками, транспортными средствами, автоматизированными складами и другими функциональными модулями ГПС в реальном масштабе времени. В состав АСУ ТП входят модули локального управления, средства информационно-измерительной и вычислительной техники.

В ГПС программное управление обеспечивает функционирование оборудования в автоматическом режиме в соответствии с заданной программой и возможность изменения процессов функционирования при смене программы. Последовательность действия оборудования и его рабочих органов определяется функциональными программами. Управляющие программы для систем числового и циклового программного управления оборудованием задают исходные данные для функциональных программ ЭВМ. Совокупность обслуживающих программ, которые обеспечивают управление работой ЭВМ, составляют операционные системы.

Главная проблема, возникающая при разработке системы группового управления оборудованием ГПС, — обеспечение взаимодействия устройства локального управления с ЭВМ. Решение этой проблемы связано с унификацией и стандартизацией программно-аппаратных интерфейсов (физического, логического и информационного).

*Физический интерфейс* определяет способ электрического и механического сопряжения ЭВМ и локальных устройств управления. Широко используют последовательные интерфейсы; параллельные интерфейсы — для передачи данных на малые расстояния (до 5—15 м).

*Логический интерфейс* определяет способ передачи информации (протокол обмена информацией) по каналу связи: способ установления и прекращения сеансов связи, размер передаваемых сообщений, процедуру контроля передаваемых данных.

*Информационный интерфейс* определяет состав и формат передаваемых по каналу связи сообщений, т. е. язык информационного обмена между ЭВМ и локальными устройствами управления. Примеры информации, передаваемой от ЭВМ: управляющие программы и подпрограммы;



модули программного обеспечения; тестовые программы; данные о параметрах станка, начальных координатах обработки, величинах корректирования; данные об инструменте и режимах резания; различные команды; текстовые сообщения для вывода на дисплей оператора. Примеры информации, передаваемой от локальных устройств управления: отредактированные управляющие программы, подпрограммы и модули программного обеспечения; запросы; данные о состоянии оборудования и локальных устройств управления; подтверждение выполнения команд.

При стыковке ЭВМ с локальными устройствами управления используют также дополнительные коммуникационные системы, выполненные на базе микропроцессоров. Такие системы в составе локальной вычислительной сети могут одновременно выполнять функции терминалов, с которых оператор вызывает требующиеся управляющие программы, вводит данные о ходе производства, состоянии оборудования и инструмента, делает различные запросы.

АСУ ОТ выполняет переработку производственной информации в соответствии с выдаваемыми оператором или АСУП задачами производственной программы и оперативной обстановкой на производстве. При этом осуществляется стратегическое, тактическое и оперативное управление ГПС.

Стратегическое управление заключается в составлении производственных планов на месяц или на более длительный период времени с учетом наибольшей загрузки оборудования, минимума переустановок обрабатываемых заготовок и минимума транспортных операций.

Тактическое управление обычно имеет дискретность действий один рабочий день (две или три рабочие смены). Вмешательство в работу ГПС на тактическом этапе управления приводит к модификации номинального производственного плана, разработанного на стратегическом этапе. На основании данных о ходе производственного процесса определяется целесообразность вмешательства в работу ГПС и в случае необходимости проводится это вмешательство для компенсации отклонений действующего производственного процесса от номинального планируемого. Корректирование планов проводится также при появлении срочных заказов, внеочередном ремонте оборудования, отсутствии заготовок и при других непредвиденных событиях.

В ходе оперативного управления выполняется оперативное планирование производства с учетом директив тактического этапа управления, диспетчеризация производства в соответствии с плановым заданием, управление технологической подготовкой производства, взаимодействие всех иерархических уровней АСУ ГПС, сбор информации о состоянии производственного процесса, работе служб и подразделений.

Для выполнения многочисленных ответственных задач АСУ ТП и АСУ ОТ разрабатывают огромное количество сложных в методическом и структурном отношении алгоритмов и программ. Их реализация связана с формированием однородных уровней принятия решений и выделением нескольких уровней в иерархических структурах. Каждому уровню соответствует свой комплекс задач и состав технических и программных

средств. На рис. 6.11 приведен вариант трехуровневой структуры АСУ ГПС.

Первый уровень содержит локальные средства управления, контроля и диагностирования функциональных модулей ГПС. На этом уровне осуществляется выполнение задач внутримодульного управления технологическими процессами (с оптимизацией режимов обработки), транспортирования, складирования, обеспечения технологической оснасткой и удаления отходов производства. Он реализуется с использованием микропроцессорных систем ЧПУ и устройств электроавтоматики, которые взаимодействуют с ЭВМ других уровней и могут при необходимости взаимодействовать между собой.

На втором уровне синхронизируется работа компонентов ГПС, решаются основные задачи группового управления оборудованием и АСУ ОТ. Управляюще-вычислительный комплекс (центральная ЭВМ) может оптимизировать процессы управления с использованием информационной и динамической моделей ГПС. В качестве примера рассмотрим

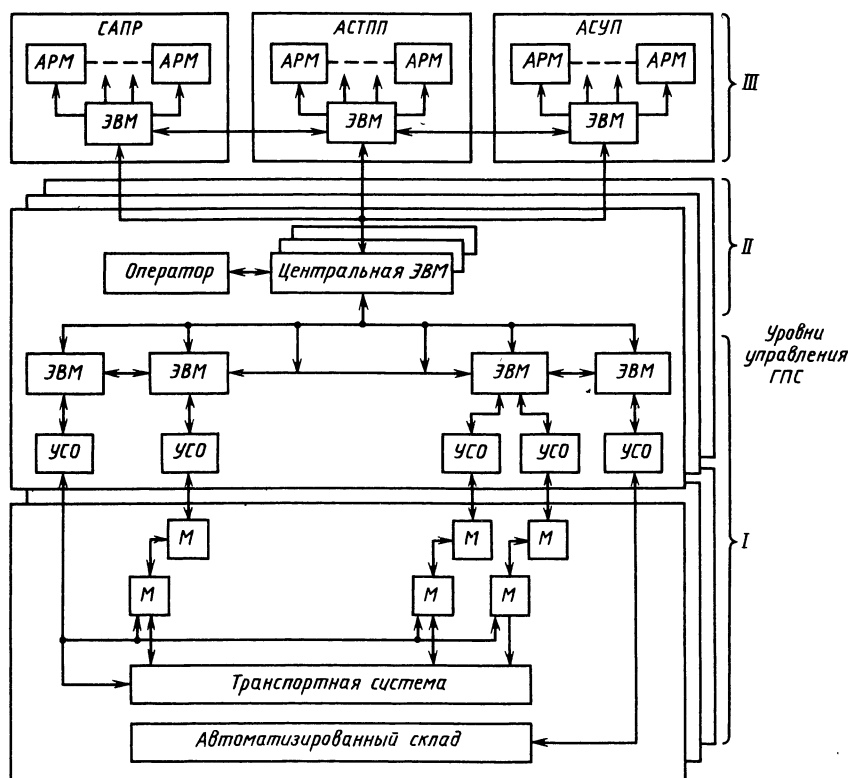


Рис. 6.11. Трехуровневая структура системы управления ГПС:

АРМ — автоматизированные рабочие места; М — модули оборудования, УСО — устройства сопряжения с объектами управления

выполнение некоторых задач диспетчеризации производства, т. е. комплекса мероприятий, осуществляемых ЭВМ и оператором, которые направлены на обеспечение выполнения производственного задания.

Производственное задание, полученное от подсистемы планирования, представляет собой частично или полностью упорядоченное расписание производственных и технологических операций. АСУ ОТ выполняет в качестве одной из своих функций *управление заданной последовательностью операций*, синхронизируя операции во времени и обеспечивая возможность изменения заданного расписания при изменении производственных обстоятельств.

По различным причинам в производственный процесс вносятся случайные возмущения, которые необходимо компенсировать для повышения ритмичности работы ГПС и обеспечения условий стабильного выпуска продукции. При изменении технологических маршрутов механообработки можно варьировать оборудованием, режущим инструментом, оснасткой и обрабатываемыми заготовками. Эффективным средством повышения устойчивости производства в условиях ГПС является реализация многовариантных технологических процессов.

Распространены два метода задания расписания производственных и технологических операций, обеспечивающие маршрутную гибкость: метод потенциальной гибкости и метод активной гибкости. В первом случае разрешение на использование альтернативных технологических маршрутов дает оператор ГПС только в экстремальных обстоятельствах. Выбором маршрута оператор управляет в реальном масштабе времени. Во втором случае допускается использование нескольких технологических маршрутов для обработки идентичных деталей за счет маневрирования ресурсами. Выбор маршрута выполняет ЭВМ по алгоритму поиска требуемого ресурса. Такой подход предъявляет повышенные требования к уровню автоматизации оборудования ГПС и прежде всего транспортного оборудования, требует соответствующие увеличенные наборы режущего инструмента на рабочих позициях и основан на принципах групповой технологии.

Поскольку производственное задание составляется по априорным или статистическим данным трудоемкости механообработки, то возможны отклонения фактической трудоемкости от расчетной. Поэтому в ходе оперативного планирования и диспетчеризации приходится определять *реальные затраты времени на выполнение технологических операций*. Например, время обработки партии корпусных деталей часто составляет несколько рабочих смен. По времени обработки первых деталей можно осуществлять более точное планирование работ на оставшийся период времени.

*Мониторинг производственного процесса* — это непрерывное слежение за ходом выполнения производственного задания. Время, оставшееся до конца планового периода, сопоставляется с трудоемкостью выполнения оставшейся части задания. Результат сравнения отображается на экране дисплея оператора.

Диспетчеризация связана также с *управлением материальными потоками* заготовок, готовых деталей, комплектов режущего инструмента

и технологической оснастки. При этом выполняется выбор маршрута движения объектов транспортирования, координация работы автоматизированной транспортно-складской системы и технологического оборудования в ходе выполнения производственного задания, формирование и выдача соответствующих команд локальным устройствам управления.

Таким образом, результатом решения задач оперативного планирования и диспетчеризации производства является временное и пространственное упорядочение комплекса запланированных на этапах тактического и стратегического управления работ. Временное упорядочение выражается в определении сроков начала и окончания выполнения работ, а пространственное — в назначении работ на определенное технологическое оборудование. При решении задач используют имитационное моделирование, аналитические и статистические методы, правила предпочтения. Примеры правил предпочтения: высший приоритет имеют технологические операции с минимальной трудоемкостью; высший приоритет имеет деталь, поступившая в очередь на обработку первой; для детали устанавливается время пребывания в очереди на обработку, после которого она приобретает высший приоритет.

На третьем уровне АСУ ГПС функционируют автоматизированные системы управления предприятием (АСУП), технологической подготовки производства (АС ТПП), исследования и проектирования изделий (САПР).

Управление машиностроительным предприятием заключается в целенаправленном воздействии органов управления на производственный коллектив, информационные потоки и материальные ресурсы для эффективного решения задач, поставленных перед предприятием. Общие цели управления направлены на развитие социального и научно-технического прогресса, повышение эффективности и качества работы.

АСУП — человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированные сбор и обработку производственной информации, необходимой для оптимизации управления предприятием. Процесс оптимизации предполагает выбор такого варианта управления, при котором достигаются экстремальные значения критериев, характеризующих качество управления. Повышение эффективности производственной и хозяйственной деятельности предприятия в условиях АСУП обеспечивается за счет внедрения экономико-математических методов управления и средств вычислительной техники, упорядочения нормативных данных и документооборота, оперативного контроля выполнения своих функций отдельными исполнителями и подразделениями.

Укрупненная информационная модель автоматизированного управления производством (рис. 6.12) представляет информационные потоки между производственным процессом, основными функциональными подсистемами АСУП, поставщиками оборудования, материалов и комплектующих изделий, потребителями продукции. По входным каналам передается плановая информация (сплошные линии), по выходным каналам — информация о фактическом ходе производства (пунктирные линии).

ЭВМ и экономико-математические методы не подменяют социальное,

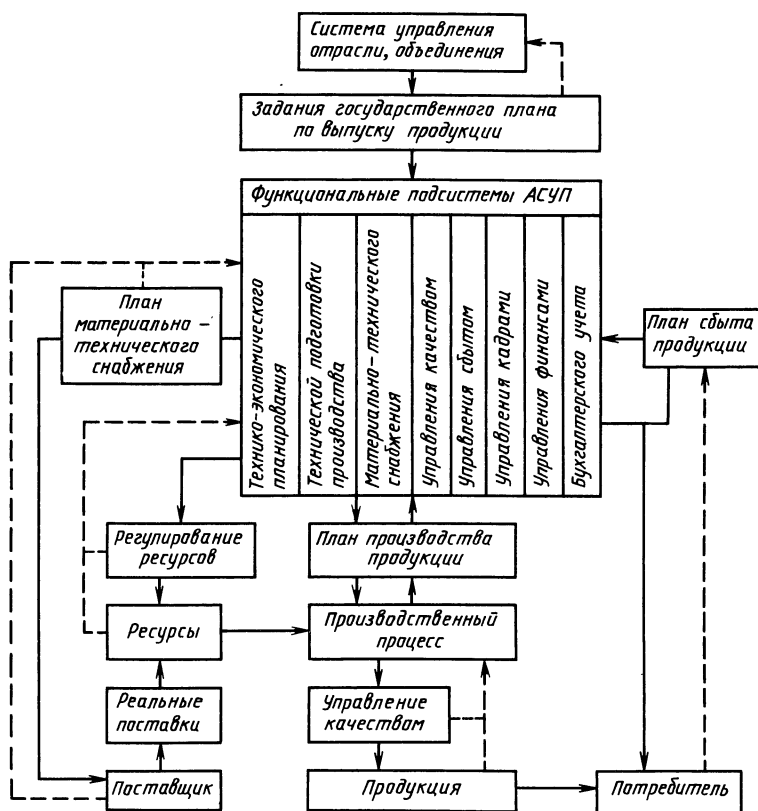


Рис. 6.12. Информационная модель автоматизированного управления производством

экономическое и административное руководство, а дополняют его и способствуют оптимизации. Управление предприятием следует понимать как сочетание объективного и субъективного, формализованного анализа огромных массивов производственной информации и творческой деятельности человека.

### Вопросы для самопроверки

1. Какие разновидности ГПС применяют в машиностроении?
2. Что понимают под гибкостью производственной системы?
3. Каково содержание этапов проектирования структуры ГПС?
4. В чем заключается модульность структуры ГПС?
5. С какими особенностями связано создание ГПС в заготовительном производстве?
6. Чем различаются комплексные и операционные ГПС для механообработки?
7. Сравните функционирование ГПС в условиях мелкосерийного, серийного и крупносерийного производства.
8. Какие функции выполняют системы управления ГПС?
9. Приведите примеры локальных устройств управления в составе ГПС.
10. Почему системы управления ГПС имеют иерархическую структуру?

### 7.1. ГПМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

В большинстве созданных в машиностроении ГПС штучные заготовки получают резкой сортового проката. Для этого используется автоматизированный склад 1 с набором прутков, труб и необходимого профильного проката общего и специального назначения (рис. 7.1). Склад обслуживается порталным загрузчиком 2 с грузовой траверсой 3 для захвата и транспортировки штанг сортового проката. Тележка 4 осуществляет подачу штанг на склад и установку их на штабелеукладчик с пятью рядами консольных кронштейнов. Механизм 7 транспортирует штанги по роликовому конвейеру к фрезерно-отрезному станку 10 с ЧПУ. Три контейнера 9 служат для приема отрезанных заготовок.

Система управления модулем построена на базе микроЭВМ, размещенной в стойке 12. С центрального пульта 8, имеющего дисплей, осуществляется ввод программ и контроль за их выполнением. Программное обеспечение предусматривает оптимизированный раскрой штанг с минимальными отходами. Короткие остатки штанг удаляются, а длинные остатки автоматически возвращаются на склад. Все данные о наличии сортового проката на складе находятся в памяти ЭВМ.

Предусмотрен пульт 11 ручного управления. Защитное ограждение 6 оборудовано сигнальной лампой 5, предупреждающей о подаче материала к станку, и системой блокировки.

ГПМ обеспечивает: малое время цикла резки с автоматической сменой режущего инструмента; простоту переналадки, возможность установки модуля в гибкие автоматизированные линии с изменяющейся номенклатурой изделий; возможность сортировки исходного проката; минимальные отходы проката; хорошие условия работы оператора.

Среди термических способов разделения проката наиболее распространена кислородная резка заготовок из листового и сортового проката. Применение числового программного управления обеспечивает перемещение резца по любой траектории, высокую производительность резки (до 4 м/мин), оптимизацию раскроя материала и технологического процесса. Оптимизация раскроя заключается в наиболее плотной укладке заготовок на листах проката.

Примером высокой эффективности использования вычислительной техники и оборудования с ЧПУ может служить судостроение, где на уровне интегрированной автоматизации внедрены системы проектирова-

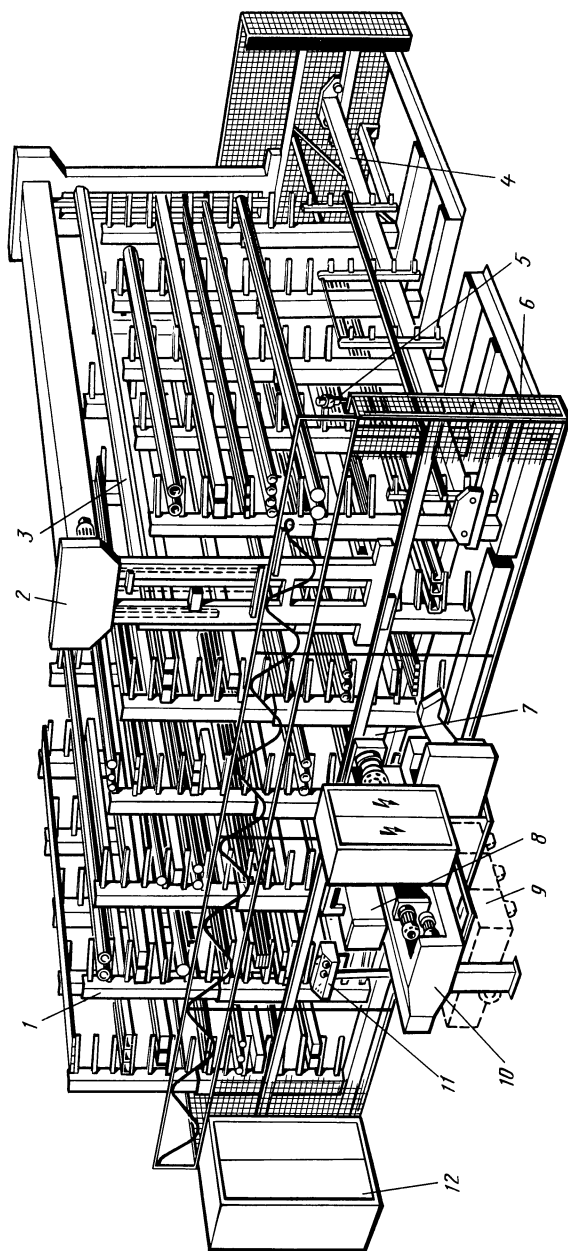


Рис. 7.1. Фрезерно-отрезной ГПМ

ния и изготовления корпуса речных и морских судов, для которых характерны значительные размеры и высокие требования к точности формы корпуса. Развитие этих систем началось с потребности автоматизировать разработку управляющих программ для газорезательных машин с ЧПУ при вырезке крупных сложных деталей корпуса. Наибольший объем работ при проектировании, ТПП и изготовлении корпуса связан с определением формы и размеров листов наружной обшивки, внутренних конструкций, настилов палуб и платформ с криволинейными наружными контурами и большим количеством внутренних вырезов. Кромки листов должны быть подготовлены под точную стыковку со смежными конструкциями и последующую электросварку. Для уменьшения расхода дорогостоящего исходного проката необходима оптимизация раскроя.

САПР и АС ТПП корпуса судов обеспечивают с помощью математического моделирования возможность выбора более рациональных конструкторских и технологических решений по сравнению с проектированием без средств вычислительной техники. Значительно повышается точность определения размеров и формы деталей корпуса, исключается уточнение размеров «по месту», снижается объем пригоночных работ и создаются условия для внедрения ГПС.

В составе ГПС для изготовления деталей корпусов судов функционирует многоцелевая машина с ЧПУ (ГПМ), которая имеет два резака для разделительной резки, два поворачивающихся по программе трехрезачных агрегата для подготовки кромок, два плазменных резака, маркирующее устройство и сверлильный агрегат, оснащенный десятью сменными сверлами.

Прогрессивность получения заготовок в условиях ГПС методами обработки давлением под последующую механическую обработку резанием или сварку подтверждается практикой. При обработке давлением обеспечивается высокая производительность, минимальное время технологического цикла, оптимальное использование материала и улучшение его прочностных свойств. Однако из-за сравнительно высокой стоимости оборудования и инструментальной оснастки экономически целесообразная партия изделий высока.

Обработка давлением применяется: как составная часть технологических процессов ГПС, но без применения специальной машины для обработки давлением (обкатывание поверхностей роликами и шариками, накатка резьбы и т. п.); как составная часть ГПС с применением ГПМ для обработки давлением; как самостоятельная кузнечно-штамповочная ГПС, состоящая только из модулей обработки давлением и вспомогательного оборудования.

Структура технологического процесса получения на ГПС методами обработки давлением заготовок под механическую обработку приведена на рис. 7.2. Все ГПМ объединены единой системой управления.

Современное состояние кузнечно-штамповочного производства характеризуется многообразием технологических процессов, инструментов и машин, что служит хорошей базой для перехода к обработке на ГПС. Управление модулями осуществляется в основном цикловыми системами программного управления. Гибкое производство развивается на основе



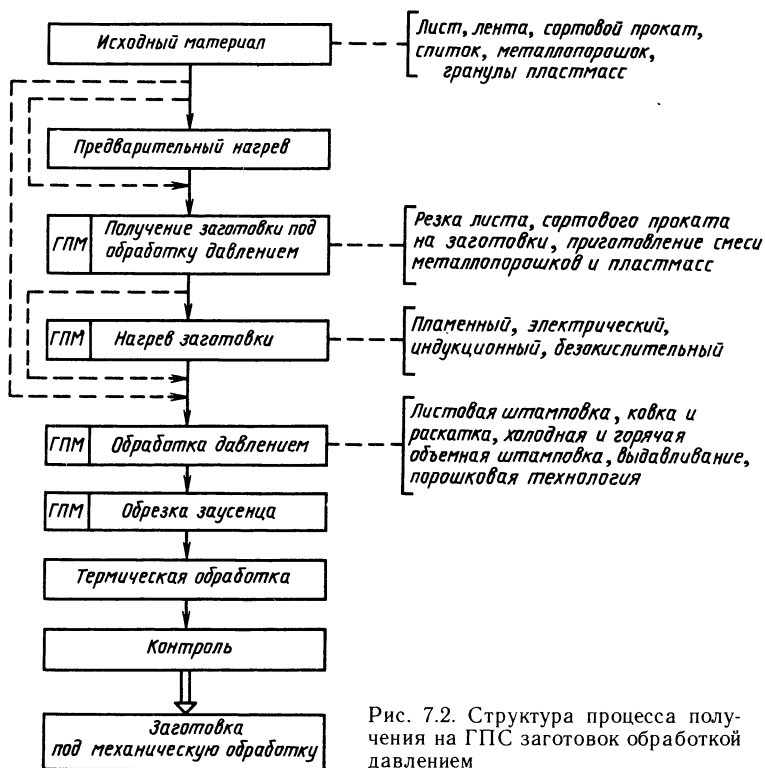


Рис. 7.2. Структура процесса получения на ГПС заготовок обработкой давлением

достигнутого уровня технологии с типизацией процессов, инструментов, машин и расширением технологических возможностей машин.

В состав ГПС обработки давлением входят системы: технологической машины, рабочего инструмента, автоматической замены инструмента (роботы, роторные, цепные и другие устройства), транспортировки и позиционирования заготовок, управления, входного и выходного контроля заготовок. ГПС связан с центральным складом исходных заготовок, рабочего инструмента и другими модулями.

ГПС кузнечно-штамповочного производства — единица основного технологического оборудования, переналаживаемая на изделия заданной номенклатуры; оснащена устройствами программного управления, загрузки-выгрузки и транспортирования изделия между переходами, смены заготовок и рабочего инструмента, удаления отходов, контроля работы оборудования, состояния инструмента и качества получаемых изделий. ГПС осуществляет многократно автоматические циклы, предназначен для автономной работы, может быть встроен в ГПС.

Формообразование заготовок из листа и ленты методами листовой штамповки в жестких штампах, упругими и податливыми средами успешно применяют на ГПС. Применение штамповки в жестких штампах целесообразно лишь при размере партии изделий более 1000 шт. из-за

высокой стоимости рабочего инструмента. При переходе на изделие другого типоразмера необходима замена двух и более элементов штампа, переналадка закрытой высоты штампового пространства машины.

Гибкость штамповки упругими средами достигается заменой только одного элемента штампов (обычно пуансона), выполненного жестким, без замены упругого элемента и переналадки машины. Поэтому она более приспособлена к условиям многономенклатурного ГПМ и экономически целесообразна при размере партии изделий уже около 100 шт. Представляет интерес, например, гибкая автоматизированная линия для формообразования упругими средами заготовок деталей самолетов из листового сплава алюминия. Линия состоит из ГПМ (гидропресса) с резиновой матрицей, станка с ЧПУ, выполняющего операции сверления, развертывания, фрезерования по контуру и зачистки, а также установки для термообработки. Эти компоненты линии связаны конвейерной системой и единой системой управления на основе микроЭВМ. Комплекты необходимых пуансонов заранее собираются на палетах и подаются для замены к прессу по программе. ГАЛ обеспечивает снижение затрат более чем на 60 % по сравнению с неавтоматизированными способами изготовления этих заготовок в основном за счет высокого уровня автоматизации, гибкости процесса формообразования и значительно возросшего качества обработки.

Внимание технологов и разработчиков ГПМ привлекает прогрессивный метод увеличения гибкости, связанный со штамповкой листовых материалов податливыми средами. При этом методе пуансон изготавливают из набора штырей, его форма может изменяться по программе, а матрица выполняется из податливого материала, способного отображать форму пуансона и в то же время создавать необходимые усилия для формообразования заготовки. Такие процессы целесообразны при размере партии изделий даже в несколько штук.

На рис. 7.3 показана компоновка ГПМ высокого уровня автоматизации для пробивки и высечки листового металла. У пресса с ЧПУ перемещения координатного стола и пуансона синхронизированы. Смену штампового инструмента и подачу исходных листовых заготовок на стол пресса осуществляет автономный робот, оснащенный двумя схватами. По заданной программе формообразования изделия робот выбирает нужный инструмент из магазина и, пользуясь двумя схватами, сначала удаляет предыдущий комплект инструмента, а затем вводит новый. Зажим инструмента в ползуне пресса автоматизирован. Привод ползуна обеспечивает режимы работы штамповки и вибрационной высечки. Система ЧПУ позволяет вводить данные о заготовке непосредственно с чертежа. Для сложных заготовок ввод данных вручную достаточно трудоемок, поэтому используется специальное устройство для подготовки перфоленты.

ГПМ для автоматической резки листовых заготовок содержит листовые ножницы продольной и поперечной резки, подающий механизм с ЧПУ, позиционирующее устройство и манипулятор для перемещения листа, съема, сортировки и ступенирования заготовок различных размеров. Эти операции, а также регулирование зазора между лезвиями

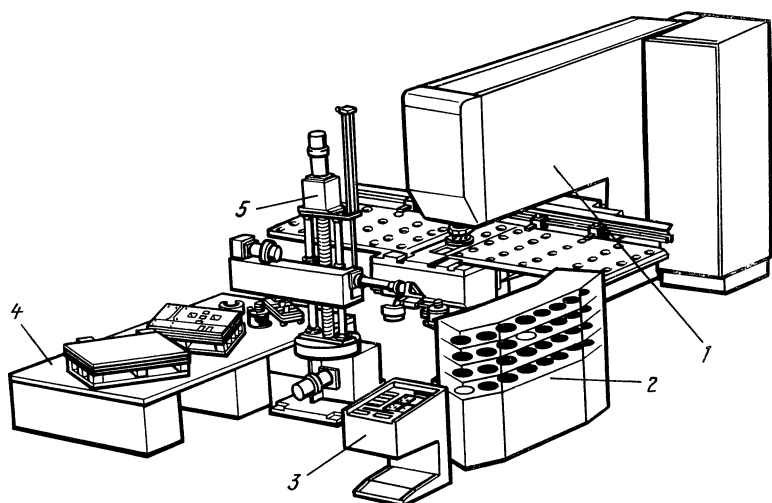


Рис. 7.3. ГПМ для пробивки и высечки листового металла:

1 — гидравлический пресс; 2 — инструментальный магазин; 3 — пульт ЧПУ; 4 — стол с заготовками; 5 — ПР

ножниц в зависимости от толщины материала и угла резки осуществляются с управлением от микроЭВМ. Оператор вводит в систему управления лишь основные параметры нужных заготовок. Возможна оптимизация раскроя листа с целью уменьшения отходов.

ГПМ для вырезки и гибки в штампах листовых заготовок (рис. 7.4) содержит порталый загрузчик 4, подающий исходные листы к ножницам 5, роликовый конвейер 3 и листогибочный пресс 1 с роботом 2, смонтированным на станине пресса. На рисунке робот показан в двух положениях: при захвате заготовки с конвейера и установке ее в штамп. Оборудование модуля управляется от микропроцессорной системы ЧПУ. Готовые полуфабрикаты передаются к следующему модулю ГПС.

Методы свободной ковки, при которых для формообразования используются простые и дешевые бойки (плоские и вырезные), эффективны и широко применяются для изготовления объемных заготовок малыми партиями от 10 до 100 шт. Для изготовления поковок средней и большой массы в условиях ГПС созданы опытные образцы гибких ковочных модулей на базе радиально-ковочных машин с ЧПУ. Предусмотрено применение роботов-манипуляторов и револьверных инструментальных магазинов, например, на шесть позиций, в каждой из которых устанавливается комплект из четырех бойков. Полые заготовки можно получать ковкой на оправках. Система ЧПУ нагревом, подачей исходных заготовок, ковкой и съемом готовых поковок обеспечивает полную автоматизацию процесса. Программирование проводится на языке высокого уровня в диалоговом режиме с помощью дисплея. Использование многоканальных микропроцессоров позволяет контролировать перемещения и позиции бойков по одиннадцати координатам.

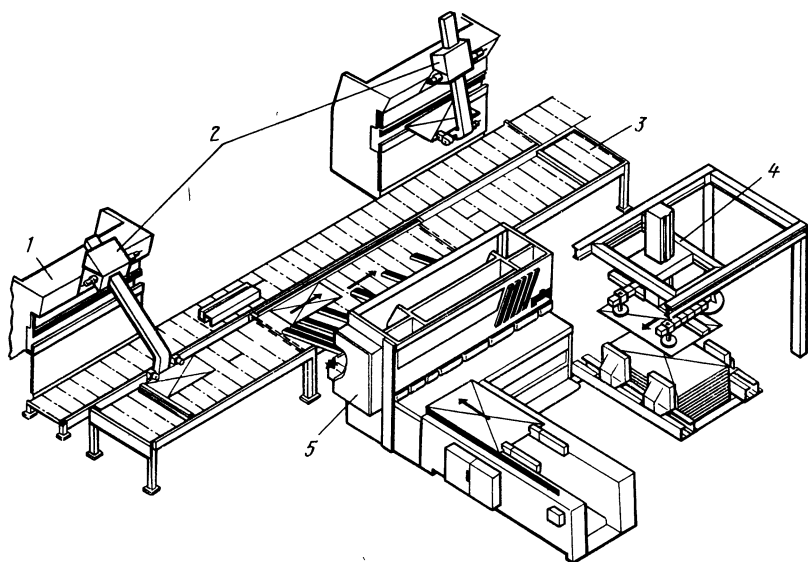


Рис. 7.4. ГПМ для вырезки и гибки листовых заготовок

С появлением оборудования с ЧПУ в технологии получения заготовок обработкой давлением становятся перспективными для гибкого производства заготовок зубчатых колес, дисков, шкивов, колец и т. п. деталей процессы раскатки. Деформирование исходной заготовки, например, зубчатого колеса (рис. 7.5) производится на роликораскатном модуле с ЧПУ четырьмя типами роликов, которые получают соответствующие программе обработки вращательные и поступательные движения от электродвигателей постоянного тока (движения показаны стрелками, а получаемые формы заготовок — в виде сечений). Нажатие роликов осуществляется гидроцилиндрами. Система управления обеспечивает выравнивание окружных скоростей роликов и заготовки в зонах контакта и поддержание необходимого крутящего момента на каждом ролике. В алгоритме управления модулем предусмотрена возможность прерывания процесса раскатки для корректирования размеров получаемых заготовок.

Наибольшее количество заготовок и готовых к сборке деталей, получаемых холодной штамповкой в условиях ГПС, применяется в транспортном машиностроении и электротехнической промышленности. Минимальный расход материала, высокие размерная точность и качество получаемых поверхностей способствуют быстрому распространению таких ГПС в серийном производстве. ГПМ разрабатываются на базе холодно-штамповочных и холодно-высадочных автоматов. Используются также чеканочные и винтовые прессы с ЧПУ. Основные решаемые задачи — разработка автоматизированных устройств замены штампов, снижение стоимости штампов и величины экономически целесообразного размера партии заготовок. Из-за высокого удельного давления при деформировании материала стойкость штампов обычно не превышает 1000 шт. Ве-

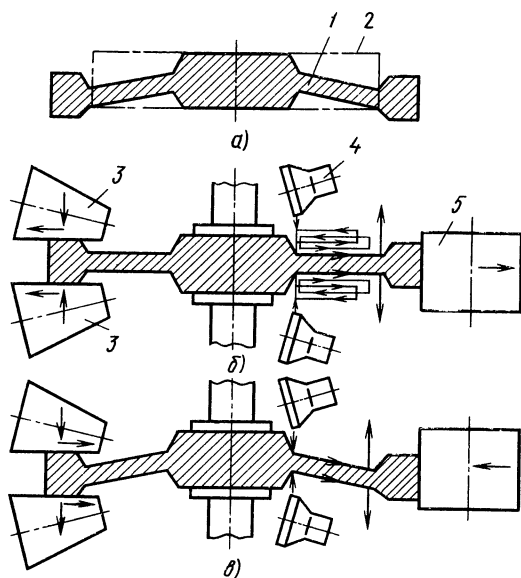


Рис. 7.5. Схема процесса раскатки заготовок зубчатых колес:

*a* — форма получаемой (1) и исходной (2) заготовки, *б, в* — раскатка двух видов заготовок (3, 4, 5 — ролики для формовки элементов заготовок)

дуются поиски более дешевых штамповых материалов и повышения стойкости штампов как за счет оптимизации технологических процессов и конструкций, так и за счет применения новых СОЖ.

Например, созданы ГПМ с сферодвижной холодной штамповки, обладающие широкими технологическими возможностями при изготовлении методом локальной холодной деформации низких заготовок типа тел вращения (рис. 7.6). Гидромеханический привод модуля воздействует на сферодвижный механизм, обеспечивая различные траектории движения верхней части штампа, в то время как нижняя часть неподвижно закреплена на столе. В соответствии с выбранной траекторией движения верхней матрицы осуществляется деформирование материала заготовки в контактной зоне. Усилие деформирования в этом процессе в несколько раз меньше, чем при объемной штамповке, однако время обработки возрастает.

Одно из возможных автоматизированных устройств замены штампов имеет поворотный стол с двумя позициями. Во время использования на модуле пакета штампов следующий пакет устанавливается на поворотном столе. Отработавший пакет передается на запасную позицию стола, стол поворачивается на  $180^\circ$  и новый пакет устанавливается и закрепляется гидравлическими зажимами в штамповом пространстве ГПМ. Циклом замены штампов в нужный момент времени управляет программируемый контроллер в составе системы ЧПУ модулем.

Формообразование заготовок методом горячей объемной штамповки в ГПС целесообразно при размере партии заготовок от 3000 до 5000 шт. из-за высокой стоимости штампов. Гибкость технологического процесса достигается заменой верхнего и нижнего молотовых штампов, верхней и нижней вставок, выталкивателя и других элементов

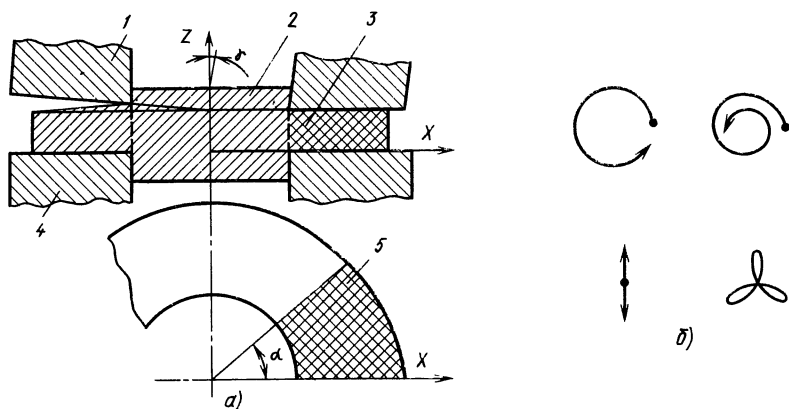


Рис. 7.6. Локальная деформация заготовок в процессе сферодвижной холодной штамповки:

*a* — схема процесса, *б* — траектории движения верхней матрицы. 1 — верхняя матрица, расположенная под углом  $\gamma$ ; 2 — заготовка; 3 — зона локальной деформации; 4 — нижняя матрица; 5 — контактная зона, характеризующаяся углом  $\alpha$

рабочего инструмента. Снижение стоимости штампов и уменьшение размера минимальной партии заготовок возможно путем применения специальных низколегированных инструментальных сталей и САПР конструкции и технологии изготовления штампов.

Горячая объемная штамповка заготовок — наиболее сложный для гибкой автоматизации процесс. Важным стимулом осуществления этой автоматизации наряду с повышением производительности являются тяжелые условия работы в цехах. Соответствующие ГПМ создают на основе быстроходных кузнечно-штамповочных машин с кинематически жестким или свободным ходом ползуна, штаповочных молотов и горизонтально-ковочных машин.

Порошковая технология имеет следующие достоинства, определяющие ее перспективность для получения заготовок в условиях ГПС: высокая точность, что позволяет во многих случаях исключить финишную механическую обработку или существенно ее сократить; экономия исходных материалов; управляемость распределением масс и объемов; малое потребление энергии; высокие механические свойства изделий. Стоимость таких деталей из металлопорошка, как шатуны и клапаны автомобильных двигателей, шестерни, валы и ступицы муфт коробок передач и т. п., в несколько раз ниже стоимости аналогичных деталей, полученных объемной штамповкой и последующей сложной механообработкой из сплошного металла.

Заслуживает внимания разработка ГПМ на базе газостата для прессования заготовок из порошковых материалов, которые невозможно получить другими методами (железоуглеродистые, хромомолибденовые, никель-молибденовые смеси). Обычно в порошковой технологии цикл нагрева и охлаждения капсул с металлопорошком занимает около 10 ч. Использование в ГПМ (рис. 7.7) специальных электрических печей для

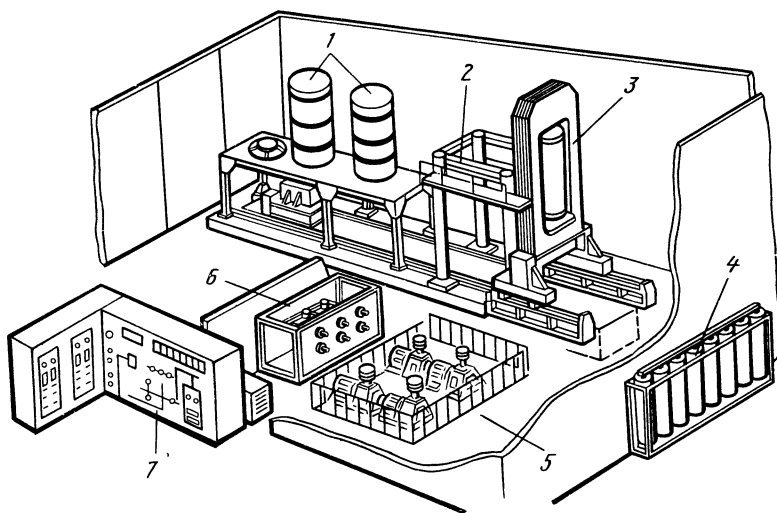


Рис. 7.7. ГПМ для прессования заготовок из металлического порошка:  
 1 — электропечь, 2 — робот; 3 — газостат; 4 — газовый аккумулятор, 5 — компрессоры;  
 6 — клапанный распределитель, 7 — пульт микропроцессорной системы управления

предварительного нагрева, применение автоматического конвейера с роботом, перемещающегося между печами и газостатом, ускоренное создание рабочего давления (100 МПа) аргона в газостате с помощью аккумулятора и компрессоров, а также управление процессом от ЭВМ позволили сократить технологический цикл до 5 ч.

Обработка высоколегированных сталей, твердых сплавов, керамических, полимерных и других материалов лазерным излучением, обладая высокой гибкостью и широкими возможностями, перспективна для ГПМ, выполняющих разрезку по контуру, пробивку отверстий сложной формы, зачистку заусенцев, полученных штамповкой заготовок, сварку и термообработку. Лазер (оптический квантовый генератор) — источник когерентного излучения, характеризующегося высокой направленностью и большой плотностью энергии. В ГПМ распространены газовые лазеры мощностью 1...5 кВт. Энергия передается от лазерного источника по световолоконному каналу к технологической насадке.

Лазерная обработка позволяет решить, например, проблему быстрого автоматизированного изготовления штампов для гибкого штамповочного производства. Штампы листовой глубокой вытяжки, формовки и вырубки можно изготовлять в виде многослойных конструкций из набора пластин, вырезка которых по соответствующему контуру осуществляется на ГПМ лазерной обработки. Для соединения пакетов пластин используют сварку или склеивание. Окончательную рабочую поверхность штампов получают многокоординатным профильным шлифованием на станках с ЧПУ. Использование лазерной обработки при изготовлении слоистых штампов позволяет получать одновременно сопряженные пластины пуансона и

матрицы любого профиля из одного исходного листа практически без отходов материала, так как ширина реза не превышает 0,15 мм. При этом возможно использование разных по прочности и другим характеристикам материалов для разных пластин в соответствии с местными нагрузками на рабочей поверхности одного штампа.

Как метод поверхностного упрочнения заготовок и деталей лазерная закалка обладает многими преимуществами по сравнению с азотированием, цементацией и закалкой токами высокой частоты. Процесс лазерной закалки состоит в структурном изменении материала, находящегося в твердом состоянии, при очень быстром нагревании в результате поглощения лазерного излучения в тонком поверхностном слое и быстром охлаждении на воздухе нагретой зоны благодаря теплопроводности материала. При этом деформации заготовок минимальны, в результате чего повышается их точность и снижается трудоемкость последующей механической обработки. Обеспечивается высокая твердость и износостойкость деталей из обычных углеродистых и низколегированных сталей, имеется возможность местного упрочнения рабочих поверхностей. Высокая производительность и гибкость лазерной закалки, возможность автоматического управления позволяют использовать соответствующие установки в составе ГПС.

## **7.2. ГПМ МЕХАНООБРАБОТКИ**

Состав металлорежущего оборудования ГПС прежде всего обусловлен конструктивными и технологическими особенностями всей номенклатуры обрабатываемых деталей, их материалом, видом заготовок, размерами партии запуска и годовых программ деталей.

Широко распространенные многоцелевые станки с ЧПУ оснащены устройствами автоматической смены режущего инструмента. Некоторые из них имеют в системах ЧПУ элементы адаптивного управления. Доля ручного труда при использовании таких станков значительно меньше, однако за оператором остаются работы по установке заготовок, снятию обработанных заготовок, расположению инструмента в магазине или револьверной головке, контролю размеров заготовок и получаемых на деталях размеров, наблюдению за работой станков, учету хода производства и другим действиям технологического и организационного характера.

Из-за большого объема перечисленных работ существенно снижается экономическая эффективность использования этих сложных и дорогих станков. Применение сменных палет, автоматизированных загрузочных устройств и быстроперенастраиваемых зажимных приспособлений позволяет улучшить их использование, но наибольшая эффективность имеет место при работе их в составе ГПС.

Область целесообразного применения многоцелевых станков с ЧПУ в условиях ГПС — мелкосерийное и в отдельных случаях серийное производство, а гибких производственных модулей — в основном серийное производство. При создании ГПМ механообработки необходимо решать целый ряд дополнительных задач, связанных с исключением человека из



технологических процессов, оставляя за ним лишь некоторые функции контроля за ходом обработки.

В настоящее время ГПМ механообработки выпускаются серийно отечественными станкозаводами и за рубежом. Их конструкция и функциональные возможности непрерывно совершенствуются. Важно различие ГПМ по степени автоматизации следующих основных и вспомогательных операций: загрузка-разгрузка заготовок и деталей; закрепление заготовок или приспособлений с заготовками; контроль формы и размеров заготовок и получаемых деталей с вводом коррекций в систему ЧПУ; контроль за использованием режущего инструмента с его подналадкой и своевременной заменой; комплектование в инструментальном магазине необходимого инструмента; адаптивное управление обработкой по важнейшим параметрам; переналадка на очередную партию деталей, подготовка и редактирование управляющих программ; очистка и герметизация рабочей зоны, удаление стружки; контроль за состоянием компонентов модуля.

Современные технические и программные средства позволяют обеспечить осуществление этих операций. Однако для повышения уровня автоматизации ГПМ приходится усложнять их конструкцию, оснащать дополнительными датчиками, устройствами электроавтоматики и более сложными системами управления, что может привести к такому удорожанию, которое сделает применение ГПМ нерентабельным. Поэтому при определении целесообразного уровня автоматизации ГПМ исходят из особенностей производственных условий потребителя: размера партии запуска деталей в обработку, их годовой номенклатуры, сменяемости номенклатуры, трудоемкости обработки деталей, опыта эксплуатации ГПС и других факторов.

Служебное назначение ГПМ определяется номенклатурой обрабатываемых на нем деталей. Характеристикой этой номенклатуры могут быть либо статистические данные спектра деталей для аналогичных станков с ЧПУ, применявшихся в сходных условиях, либо конкретный перечень обрабатываемых деталей.

Предельные размеры подлежащих обработке деталей характеризуют рабочую зону модуля, а вместе с информацией о наборе технологических операций и применяемом инструменте являются исходными данными для обоснования технических характеристик ГПМ. Выбор компоновки модуля зависит от уровня его автоматизации. Для модулей, рассчитанных на затраты ручного труда, важнейшим критерием целесообразной компоновки является удобство обслуживания оператором, что предопределяет расположение рабочей зоны модуля и пульта ЧПУ.

В ГПМ с полной автоматизацией смены инструмента, обрабатываемых деталей и технологической оснастки выбор компоновки связан со взаимодействием станка, промышленного робота и транспортной системы.

Принципиальной особенностью ГПМ является использование в конструкциях метода агрегатирования, что повышает надежность, снижает затраты на изготовление и позволяет в короткие сроки создать оптимальную конструкцию. Сохраняя общую структурную компоновку модуля, его можно снабжать различными по назначению столами, шпиндельными

узлами, инструментальными магазинами различной емкости и т. д.

Загрузка ГПМ для обработки деталей типа тел вращения наиболее просто поддается автоматизации заготовок из прутка. Модули комплектуют различными устройствами автоматической подачи прутка к упору на револьверной головке. Имеются конструкции, управляемые от системы ЧПУ и включающие подачу прутка через отверстие в шпинделе несколько раз в течение одного цикла обработки. Применяются устройства с магазином прутков и с шумопоглощающими элементами, в том числе с гидростатической масляной ванной в подающей трубе.

Автоматизированная загрузка штучных заготовок выполняется автооператорами (роботами) преимущественно портального типа с одним или несколькими захватами в зависимости от числа выполняемых функций (рис. 7.8). Заготовки, инструмент и обработанные детали располагаются либо на шаговом конвейере, либо на неподвижном столе. Используют также напольные и пристроенные к станку роботы в комплекте с тактовым столом.

Сложные детали, обрабатываемые с двух сторон, изготавливают в два перехода с технологическим остановом по управляющей программе. Если деталь зажимается в самоцентрирующем автоматическом патроне, то его кулачки должны иметь соответствующие двойные базы под посадочные диаметры. Возможно закрепление деталей типа тел вращения на

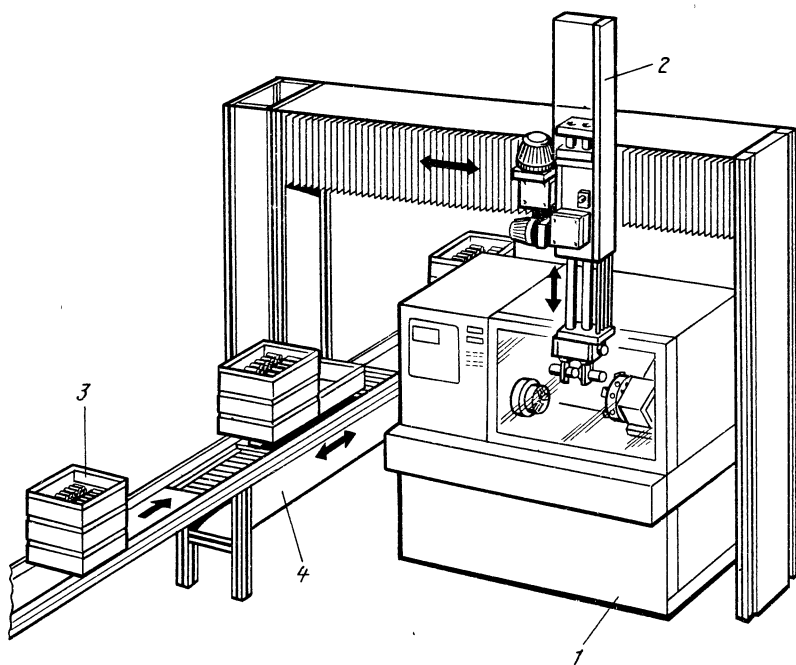


Рис. 7.8. Токарный ГПМ:

1 — многоцелевой токарный станок; 2 — робот портального типа, 3 — поддоны с заготовками, режущим инструментом и обработанными деталями, 4 — шаговый конвейер

кодированных приспособлениях-спутниках с постоянными для патрона или планшайбы посадочными местами.

Эффективно объединение в одном ГПМ на общей станине двух токарных станков с единой системой ЧПУ. Такой ГПМ оснащен двумя шпинделями и двумя многопозиционными инструментальными револьверными головками, установленными на крестовых суппортах. В двух шпинделях возможна одновременная обработка двух различных деталей или, в частности, двух одинаковых деталей в два перехода. Перенос заготовки с одного шпинделя на другой автоматизирован. Одновременная механо-обработка двумя револьверными головками сокращает машинное время обработки примерно на 50 %, что существенно сокращает и весь производственный цикл.

На рис. 7.9 показан такой ГПМ. Робот может одновременно взять с АТСС две заготовки и снять с двух шпинделей две обработанные детали. Поворотный стол необходим для контроля заготовок и выполняет функции кантователя.

Наличие магазина инструментов и устройства их автоматической смены в револьверных головках обеспечивает работу ГПМ в течение двух смен без участия обслуживающего персонала.

Характерные особенности токарных многоцелевых ГПМ можно рассмотреть на примере «Модуль ИТ 180ПМФ4» Ивановского станкообъединения. ГПМ предназначен для комплексной высокопроизводительной обработки в патроне деталей типа тел вращения диаметром до 200 мм из стали, чугуна и цветных металлов. Модуль оснащен роботом, расположенным на станине, тактовым столом, устройством автоматической смены инструмента и системой контурно-позиционного ЧПУ с обширными функциональными возможностями, включая автоматический контроль размеров обрабатываемых деталей, размерной настройки инструмента, износа и поломки инструмента.

Агрегатированные узлы модуля расположены на общей жесткой станине прямоугольной формы. Шпиндель смонтирован на высокоточных радиально-упорных подшипниках в отдельном жестком корпусе и имеет сквозное осевое отверстие, позволяющее обрабатывать прутковые заготовки. Трехкулачковый самоцентрирующий патрон с быстросменными комплектами кулачков обеспечивает простую переналадку на новую партию изделий.

Суппорт содержит продольно-подвижные салазки и поперечно-подвижный ползун. Подвижные узлы снабжены стальными накладными направляющими и роликовыми опорами качения. На ползуне расположена 12-позиционная револьверная головка. Фрезерный шпиндель обеспечивает передачу крутящего момента на инструментальные блоки с вращающимся инструментом. Возможна автоматическая замена инструментальных головок с использованием специального магазина.

Модуль имеет герметичную рабочую зону, позволяющую вести обработку деталей при обильной подаче смазочно-охлаждающей жидкости. Стружку из зоны резания отводит конвейер скребкового типа. Высокий уровень автоматизации модуля позволяет использовать его как автономно, так и в составе ГПС. Концентрация токарных и сверлильно-

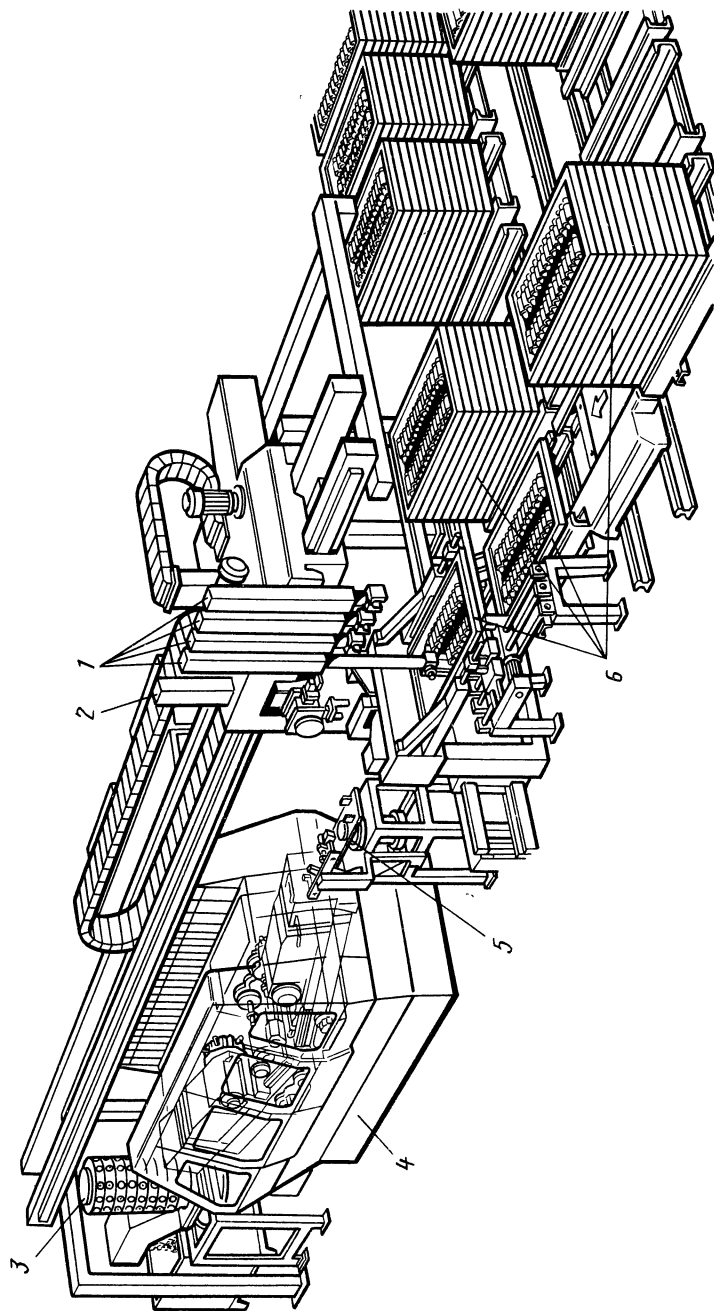


Рис. 7.9. ГПМ на базе двухшпиндельного токарного станка с ЧПУ:

1 — робот, оснащенный четырьмя манипуляторами; 2 — устройство автоматической смены инструмента; 3 — инструментальный магазин; 4 — многоспindleвый токарный станок; 5 — поворотный стол; 6 — АТСС

фрезерных операций многократно сокращает производственный цикл обработки деталей.

Важнейшим компонентом в дальнейшем повышении производительности токарных ГПМ становится фактор существенного сокращения машинного времени за счет совмещения обработки несколькими инструментами, форсирования режимов резания и применения многолезвийных инструментов. Перспективно использование широкой номенклатуры новых конструкций инструмента из неперетачиваемых твердосплавных пластин с упрочняющими покрытиями, ударопрочной оксидно-карбидной минералокерамики и сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора. Частота вращения шпинделей ГПМ достигает 10 000 об/мин, скорость резания 1200 м/мин и более, ускоренная подача 20 м/мин. Модули имеют высокие энергетические характеристики, рассчитаны на выполнение черновых и чистовых операций с одного установа на интенсивных режимах резания.

Модуль ГПС для обработки корпусных деталей состоит из многоцелевого сверлильно-фрезерно-расточного станка с ЧПУ, накопителя столов-спутников с обрабатываемыми деталями, устройства автоматической загрузки-выгрузки столов-спутников, инструментального магазина с устройством автоматической смены режущего инструмента, контрольно-измерительной системы, микропроцессорной многофункциональной системы ЧПУ и устройств отвода стружки. На рис. 7.10 в качестве примера показан «Модуль ИР 500ПМФ4» Ивановского станкообъединения. Узлы станка смонтированы на жестком Т-образном основании. Бесконсольная шпиндельная бабка расположена внутри портальной стойки. Восьмиместный круговой накопитель столов-спутников обеспечивает загрузку модуля обрабатываемыми деталями на рабочую смену. Наличие столов-спутников контролируется автоматически с помощью датчиков. Между рабочим столом станка и накопителем размещено двухпозиционное поворотное устройство смены спутников.

Самостоятельный узел (специальный барабан, содержащий 10 инструментов) представляет устройство замены по программе режущего инструмента в магазине станка. Это устройство позволяет увеличить набор используемого инструмента, так как емкости инструментального магазина (30 инструментов) недостаточно для длительной работы модуля в составе ГПС. По команде от системы управления устройство передается из накопителя на рабочий стол станка. Затем стол перемещается, конический хвостовик барабана вводится в шпиндель станка и зажимается. Стол станка со спутником барабана возвращается в исходное положение, а барабан с инструментом остается в шпинделе. Далее шпиндельная бабка с барабаном поднимается до зоны действия манипулятора смены инструмента, который осуществляет переустановку нужного инструмента из барабана в магазин станка и обратную переустановку ненужного инструмента. При завершении замены инструмента шпиндельная бабка с барабаном опускается, барабан закрепляется в своем спутнике, освобождаясь из шпинделя и возвращается в накопитель.

Контрольно-измерительная система содержит измерительную головку индуктивного типа, преобразователь аналоговых сигналов, микропроцес-

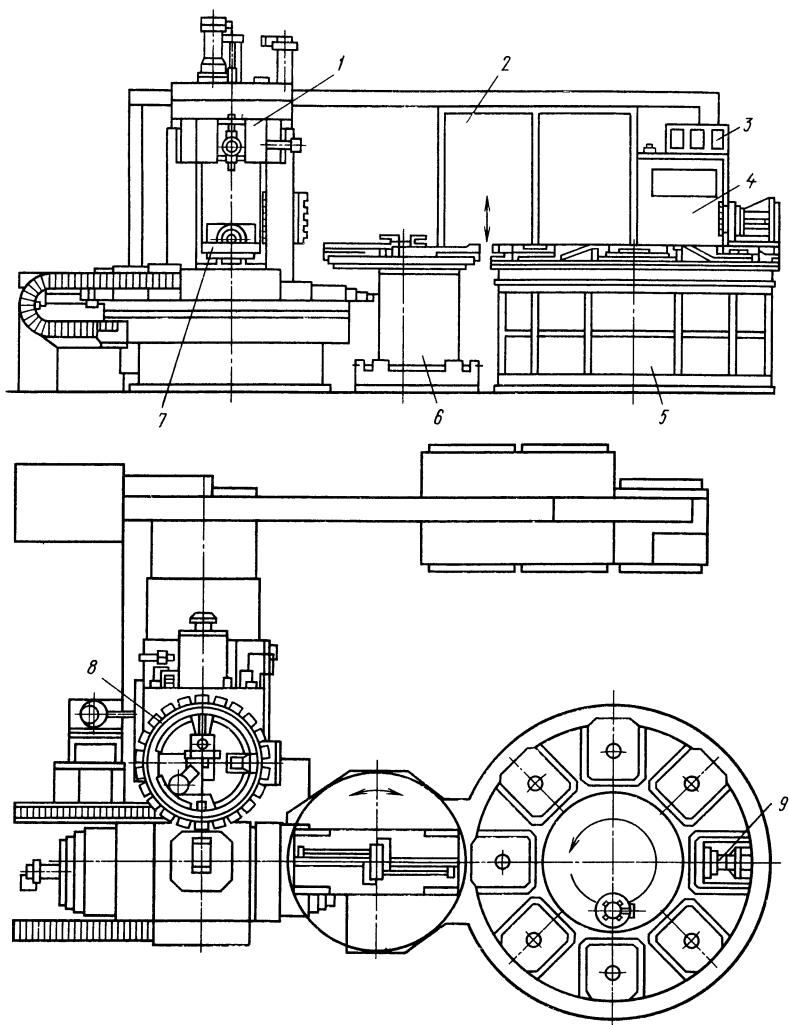


Рис. 7.10. ГПМ для механической обработки корпусных деталей:

1 — сверлильно-фрезерно-расточный многоцелевой станок с ЧПУ, 2 — электрооборудование; 3 — контрольно-измерительная система, 4 — система ЧПУ, 5 — накопитель столов-спутников с обрабатываемыми деталями; 6 — устройство смены столов-спутников; 7 — стол-спутник; 8 — инструментальный магазин; 9 — устройство замены инструмента в магазине

сор и узел ввода корректирующей информации в систему ЧПУ. Измерительная головка в нерабочем состоянии расположена в инструментальном магазине. По программе она устанавливается автоматически в шпиндель вместо инструмента. Контроль размеров осуществляется опять же по программе наличием контакта между щупом измерительной головки и соответствующими поверхностями детали. Перемещения детали при

контроле ее размеров, прием сигналов измерения, обработка этих сигналов и выдача корректирующих воздействий на приводы производится системой ЧПУ.

Наиболее распространенными средствами автоматической смены инструмента в ГПМ, обрабатывающих корпусные детали, являются инструментальные магазины, манипуляторы и устройства автоматического закрепления инструмента в шпинделе. Установка магазина возможна на верхней плоскости колонны, боковых ее сторонах, шпиндельной бабке, столе и за пределами станка.

Инструментальные магазины подразделяют на две основные группы. К первой группе относят магазины, в которых инструмент устанавливается в строго определенной последовательности. При этом магазин представляет собой многоинструментальную шпиндельную головку, воспринимающую силы резания.

Магазины второй группы (см. рис. 7.10) являются накопителями инструментов. Они могут быть замкнутыми и незамкнутыми, цепными, винтовыми, дисковыми, вертикальными и горизонтальными, выполненными в виде барабанов и т. д. Дисковые и особенно цепные магазины имеют большую вместимость (до 100 инструментов и более). Однорядные дисковые магазины удобны в обслуживании, просты по конструкции и компактны. Для увеличения их вместимости возможна установка на общем диске по периферии инструментальных барабанов, каждый из которых имеет индивидуальный привод поворота и связан с общим приводом поворота диска.

Увеличение числа используемого инструмента на ГПМ может быть достигнуто применением многорядных дисковых магазинов, а также за счет подпитки основного магазина из дополнительного. Все более широко применяют системы, в которых могут заменяться или весь магазин, или его составные части.

Например, ГПМ может быть снабжен горизонтальным поворотным столом, на котором размещены четыре барабанных съемных магазина, поочередно устанавливаемых на колонну станка. Стол соединен направляющими с общей системой инструментального обеспечения ГПС, которая осуществляет подпитку магазинов.

К достоинствам цепных магазинов относятся малая инерционность и металлоемкость, возможность изменения в широких пределах вместимости без изменения конструкции станка.

Кодирование и опознавание (идентификация) режущего инструмента при его автоматической смене осуществляются по двум основным схемам. В первой схеме за каждым инструментом закреплено определенное место в магазине. При этом кодируются гнезда в магазине, что упрощает систему поиска нужного инструмента, а время поиска снижается до минимума, так как направление вращения магазина для кратчайшего пути движения нужного инструмента к зоне смены определяется по простому алгоритму. Однако при ручной загрузке магазина от оператора требуется повышенное внимание, поскольку каждый инструмент он должен загружать в строго определенное гнездо магазина в соответствии с управляющей программой. Избежать ошибок можно механической блокиров-

кой установки оправок, при которой каждая оправка с инструментом беспрепятственно вставляется только в соответствующее ей гнездо.

*Во второй схеме* кодирование оправок с инструментом позволяет загружать инструмент в любые свободные гнезда магазина. Хотя система поиска нужного инструмента несколько усложняется, этот способ кодирования получил наибольшее распространение, так как он исключает возможность ошибок в загрузке магазина. Для идентификации инструмента каждая оправка снабжена индивидуальным кодом в виде набора колец, канавок, прорезей. Считывание кода осуществляется концевыми выключателями или бесконтактными способами, а получаемая информация о фактическом расположении инструмента в гнездах магазина передается в память системы ЧПУ. Все подготовительные операции, связанные со сменой инструмента, совмещаются с процессом механообработки, и лишь этап замены инструмента непосредственно в шпинделе связан с потерей времени и производительности.

При считывании кода инструмента концевыми выключателями (датчиками) система управления фиксирует совпадение заданного кода с комбинациями включенных и выключенных датчиков. Считывание кода может осуществляться также посредством датчика, чувствительного к массе режущего инструмента и фиксирующего его массу в качестве аналога электрической величины. Эквивалент массы каждого используемого инструмента определен заранее и введен в память системы управления.

Один из оригинальных способов передачи информации об инструменте в ГПМ заключается в использовании передатчиков и приемников электромагнитных волн с частотами, настроенными отдельно для каждого инструмента.

Комбинированное кодирование режущего инструмента объединяет преимущества рассмотренных двух способов кодирования, т. е. при малом времени поиска сохраняет возможность установки инструмента в любое гнездо магазина. В этом случае обычно используют специальные кодовые ключи, которые позволяют код гнезда настраивать в соответствии с кодом устанавливаемого в него инструмента. Запоминающие устройства, в которые вводятся коды инструмента, перемещаются синхронно с магазином. При извлечении любого инструмента из магазина его код стирается в запоминающем устройстве соответствующего гнезда, а при установке инструмента в свободную позицию его код вводится в запоминающее устройство.

Манипуляторы для перекладывания инструмента из магазина в шпиндель и обратно отличаются большим разнообразием конструкций. Чаще всего манипуляторы выполняют с двумя захватами, что сокращает время цикла смены инструмента. Различают манипуляторы с поступательным движением захватов, вращательным движением и поступательно-вращательным.

Средства автоматического закрепления инструмента в шпинделе станка выполняют на основе гидравлических, электромеханических, пружинно-гидравлических и пружинно-электромеханических приводов. Узлы за-



крепления бывают шариковыми, рычажными, цанговыми, винтовыми и байонетными.

К базовым деталям, направляющим, шпиндельным узлам и тяговым устройствам металлорежущих станков в составе ГПМ предъявляют повышенные требования в отношении точности и виброустойчивости. Для удовлетворения этих требований необходимы высокая жесткость и хорошие демпфирующие свойства станин, оснований, колонн, стоек, столов, планшайб, корпусных деталей, а также повышенное качество неподвижных и подвижных соединений.

Базовые детали служат для создания требуемого пространственного размещения узлов, несущих режущий инструмент и заготовку, и обеспечивают точность их взаимного расположения под действием силовых и температурных возмущений. Динамические характеристики базовых деталей в значительной мере определяют виброустойчивость всего ГПМ.

Направляющие обеспечивают точность координатных перемещений. Особенно важны их антифрикционные показатели, жесткость и долговечность. Направляющие скольжения обладают высокой жесткостью и хорошим демпфированием, но для них характерны непостоянство силы трения при изменении скорости движения, износ и ограниченная долговечность. Фрикционные характеристики направляющих скольжения могут быть улучшены при использовании полимерных покрытий. Наибольшее распространение в ГПМ получают направляющие качения, основными достоинствами которых являются чрезвычайно малый коэффициент трения и высокая долговечность.

К шпиндельным узлам ГПМ помимо общих требований, названных выше, предъявляются дополнительные, связанные с широким диапазоном регулирования частот вращения, автоматической сменой режущего инструмента, необходимостью фиксации шпинделя в заданном положении по углу поворота, встройкой в шпиндельный узел датчиков при автоматической диагностике, нарезании резьбы резцами и адаптивном управлении. В качестве опор шпинделей применяют подшипники качения специальных конструкций, гидростатические и аэростатические подшипники.

Основным видом тягового устройства в приводах подач ГПМ служит передача винт-гайка качения. Причиной этого являются высокая жесткость и отсутствие в нем зазоров, снижающие вибрации, существенно уменьшающие износ и поломки режущего инструмента, повышающие точность и качество обработки. Почти полная независимость силы трения от скорости и очень малое трение покоя способствуют получению равномерных движений во всем диапазоне скоростей подач в приводах столов, суппортов, стоек, траверс и других узлов ГПМ.

### **7.3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ НА ОПЕРАЦИЯХ СБОРКИ**

Трудоемкость сборочных процессов в машиностроении составляет около 25 % общих трудозатрат, а в отдельных областях приборостроения достигает 60 %. Однако в настоящее время доля автоматической сборки не превышает 5 % трудоемкости сборочных работ.

В связи с этим автоматизацию операций сборки следует считать важным резервом повышения эффективности машиностроительного производства.

Развитие средств автоматизации сборки идет по двум направлениям: создание специализированного сборочного оборудования и ГПМ сборки. Первое направление дает высокий экономический эффект лишь в условиях крупносерийного и массового производства. Проблема автоматизации сборочных работ при серийном и мелкосерийном производстве наиболее эффективно может быть решена путем внедрения ГПМ сборки на базе промышленных роботов.

Технологический процесс автоматической сборки существенно отличается от процессов ручной и механизированной сборки и требует создания сложных автоматических устройств, выполняющих все необходимые операции без участия человека: подготовку деталей и комплектующих изделий к сборке (промывку, очистку, деконсервацию, контроль комплектования); загрузку сопрягаемых деталей в бункерные, магазинные, кассетные или другие загрузочные устройства и накопители в ориентированном или произвольном положении; захват и подачу сопрягаемых деталей в ориентирующие и базирующие устройства сборочного приспособления; ориентацию сопрягаемых деталей на сборочных позициях с точностью, обеспечивающей собираемость соединений; соединение и фиксацию сопряженных деталей с требуемой точностью; контроль точности относительного положения сопряженных деталей и сборочных единиц; транспортирование готовой сборочной единицы для выполнения последующих операций.

Процесс соединения представляет собой самый ответственный этап, при котором одна или несколько деталей монтируются с базовой, обычно неподвижной, деталью. Детали должны располагаться на сборочных позициях так, чтобы их соединение при установленных допусках на размеры и относительные положения сопрягаемых поверхностей легко осуществлялось, от чего зависят работоспособность сборочного оборудования и качество сборки. Фиксация достигнутой точности в зависимости от типа сопряжения может совмещаться с процессом соединения (например, запрессовка втулки до упора) или может иметь дополнительные операции (стопорение винтами, склеивание, сварку, развальцовку, чеканку и т. д.).

Построение технологического процесса сборки зависит прежде всего от особенностей изделия: размеров, массы, количества входящих в изделие деталей и сборочных единиц, программы выпуска, сборочной технологичности конструкции изделия и его составных частей, качества изделия, распределения операций на сборочных позициях по времени их выполнения, сложности соединений, характера сопрягаемых поверхностей, точности и надежности относительной ориентации сопрягаемых деталей, способа фиксации. Транспортирование изделия помимо перемещения с позиции на позицию включает деление и объединение транспортных потоков, переориентирование изделия, возврат сборочных приспособлений-спутников, базирование и закрепление изделия на приспособлениях, снятие полуфабриката или готового изделия с приспособления и другие

необходимые для технологического процесса сборки транспортные операции.

Типовые технологические процессы автоматической сборки основываются на классификации собираемых изделий, сборочных единиц и соединений по конструктивным параметрам, типовых сборочных операциях и типовых конструкциях автоматических сборочных устройств. Для каждого вида сборочных соединений с характерными конструктивными особенностями выделяются типовые представители, на которые и разрабатывают рациональные варианты технологических процессов в качестве типовых с использованием типовых оборудования и рабочего инструмента.

Можно выделить следующие рекомендации по конструированию технологичных деталей и сборочных единиц в связи с возможностью эффективного применения автоматической, в том числе роботизированной, сборки.

Сборочные единицы должны содержать базовую деталь, на которой производится сборка. Форма базовой детали должна обеспечивать устойчивость положения и удобство ориентирования сборочной единицы. Любая точка собираемого изделия должна быть доступна всем необходимым рабочим инструментам для выполнения запрограммированных операций, а изделие и его составные части должны быть по возможности простыми, иметь минимальное количество деталей. Схемы базирования должны обеспечивать собираемость по кратчайшей размерной цепи, удобство базирования, захвата, перемещения, монтажа и регулирования сборочных единиц. Объект сборки должен иметь минимальное количество различных устойчивых положений. Детали должны быть простой конфигурации без острых кромок и больших выступов, должны иметь возможно большее число плоскостей и осей симметрии и обладать самоцентрировкой с помощью центрирующих и направляющих элементов. Должны быть обеспечены стабильность качества деталей и комплектующих изделий, их взаимозаменяемость и полное устранение пригоночных операций. Желательно все детали одного сборочного процесса приспособлять для манипулирования единственным захватом. Нужно стремиться использовать безрезьбовые соединения, ассортимент применяемых винтов, болтов и других крепежных деталей сводить к минимуму. Особенно важна оптимизация допусков размеров сопрягаемых и базовых поверхностей. Необходимо соблюдать принцип единой последовательности сборки без промежуточной разборки и смещения установленных деталей.

Отработка конструкций изделий на технологичность сборки связана прежде всего с унификацией конструктивных элементов, применением унифицированных средств технологического оснащения при сборке и стандартизацией требований к точностным параметрам. Это обеспечивает сокращение номенклатуры конструкций соединений при широком использовании типовых технологических процессов автоматической сборки, создает условия для применения ЭВМ при проектировании сборочных процессов.

Большое значение при автоматизации процессов сборки имеет экономическое обоснование оптимального в каждом конкретном случае уров-

ня автоматизации с учетом технических, социальных и эргономических факторов. В состав автоматического сборочного оборудования входят следующие основные устройства и механизмы.

Сборочные автоматы разделяют на однопозиционные и многопозиционные в зависимости от сложности собираемого изделия и его составных частей. На однопозиционных автоматах производится сборка конструкций, состоящих из малого числа деталей. Подача деталей на сборочную позицию производится с помощью различных загрузочных устройств и питателей или роботами. Базовая деталь может устанавливаться на позицию сборки транспортными средствами ГПС, автоматической линии, участка, цеха.

Компоновки многопозиционных сборочных автоматов в большинстве случаев выполняются с поворотным индексруемым столом. Число сборочных позиций может быть значительным (6—10 и более), что предопределяет сложность конструкции автоматов и их систем управления. Встраивание отдельных сборочных автоматов в автоматические сборочные линии позволяет решать задачи многооперационной сборки с любым числом сборочных позиций. По компоновке сборочные линии могут быть прямолинейными или замкнутыми с последовательным, параллельным и параллельно-последовательным выполнением сборочных операций. По принципу действия сборочные линии могут быть дискретного (прерывистого) действия с определенным тактом работы, дискретного действия со свободным тактом работы (несинхронные линии) и непрерывного действия (роторные линии).

В автоматические сборочные линии часто встраивается *прессовое оборудование* для выполнения операций запрессовки, чеканки, клёпки, пробивки отверстий, отбортовки, обжатия, закатки и т. д. Автоматическую сборку можно осуществлять и в специальных штампах.

Транспортные устройства служат для перемещения собираемых деталей, комплектующих изделий и сборочных единиц от одной сборочной позиции к другой. Распространены устройства с принудительным перемещением объектов сборки и перемещением под действием сил тяжести (гравитационного типа) для последующей передачи в ориентированном положении к захватывающим, отсекающим и подающим механизмам.

Типовыми транспортными средствами сборочных автоматических линий являются вертикально-замкнутые и горизонтально-замкнутые конвейеры различных видов (например, ленточные, пластинчатые, валковые, флажковые). Базовые детали обычно устанавливают в приспособления-спутники.

Попутная подача деталей в лотки сборочных автоматов и на конвейеры часто осуществляется с помощью бункерных *загрузочных устройств, захватов и отсекателей*. В случае необходимости бункерные устройства, захваты и специальные механизмы осуществляют процесс ориентирования собираемых деталей. Распространены три метода ориентирования: пассивное (неправильно ориентированные детали удаляются для повторного ориентирования); активное (детали приводятся в требуемое положение за счет воздействия реактивных сил); активно-принудительное (детали

изменяют неправильное положение под действием активных сил). Датчики контроля положения деталей необходимы для обеспечения надежного функционирования сборочных автоматов. Все большее распространение получают электромагнитные, пневматические и адаптивные устройства ориентирования деталей различной формы и качества изготовления, в том числе промышленные роботы, оснащенные системами осязательства.

Агрегатный принцип построения сборочных машин расширяет области применения автоматической сборки. Унифицированные узлы и агрегаты таких машин могут изготавливаться централизованно более производительными и экономичными методами при более высоком качестве. Конструкции агрегатных сборочных машин допускают их переналадку и перекомпоновку в случаях изменения конструкции собираемых изделий или технологического процесса сборки.

Переналадка сборочного оборудования может производиться либо регулированием специально предусмотренных элементов, либо заменой отдельных механизмов и элементов. При создании переналаживаемого сборочного оборудования необходима предварительная классификация собираемых изделий на основе идентичности служебного назначения, типоразмеров и на основе типовых технологических процессов автоматической сборки.

Сложность и разнохарактерность конструкций машиностроительных изделий одинакового служебного назначения затрудняет процесс создания переналаживаемого сборочного оборудования. Трудоемкость переналадок зависит также от рационального выбора диапазона типоразмеров объектов сборки. Обычно при переналадке соблюдается единство условий базирования собираемых деталей, что определяет выбор типовых переналаживаемых сборочных устройств (транспортирования, подачи, ориентирования, фиксации, контроля качества и т. д.). Базирующие и закрепляющие устройства сборочной машины, наиболее чувствительные к изменениям в собираемых деталях, целесообразно делать быстросменными.

Применение на операциях сборки промышленных роботов дает следующие преимущества: существенно повышается гибкость сборочного оборудования и уменьшается трудоемкость его проектирования, изготовления, наладки; обеспечивается высокая стабильность качества изделий за счет практически неограниченной возможности контроля качества выполнения всех операций технологического процесса в ходе автоматической сборки; не требуется разработка многочисленных устройств для загрузки и ориентирования собираемых деталей; расширяются функциональные возможности и «интеллект» сборочных машин.

Имеют место две тенденции построения роботизированных переналаживаемых сборочных производств: дифференцирование сборочных процессов (создание производств с последовательным во времени и пространстве распределением сборочных операций); концентрация сборочных операций на одном рабочем месте путем организации ГПМ сборки (по принципу построения ГПМ механообработки). В первом случае допускается на отдельных операциях использование ручного труда, что обусловлено современным уровнем развития робототехники и периферийного сборочного оборудования, а также экономическими соображениями.

Во втором случае концентрация операций связана с высокой технологической и функциональной универсальностью ПР.

Освоены три метода организации роботизированных сборочных ГПС: переналаживаемой сборочной линии, стационарной сборки и стационарной дифференцированной сборки.

*Первый метод*, наиболее распространенный в машиностроении, связан с расчленением сборочного процесса на элементарные операции, каждая из которых выполняется специализированным ПР. Этот метод предполагает использование простых манипуляторов и ПР, не требует сложного периферийного сборочного оборудования и сложной технологической оснастки. Он эффективен в условиях крупносерийного производства, характеризующегося стабильностью последовательности операций.

Например, в автомобильной промышленности переналаживаемые автоматические линии выполняют сотни операций сборки двигателей внутреннего сгорания. На одной такой линии возможна сборка двигателей порядка 20—30 наименований. Переналадка ПР на сборку узла для другой модели двигателя обычно занимает не более 15—20 мин.

*Второй метод* основан на использовании ГПМ сборки с периферийными устройствами и набором сменной технологической оснастки. Центральный ПР должен идентифицировать детали, транспортировать их и осуществлять все операции соединения на одном рабочем месте, используя стационарное периферийное оборудование, монтажные приспособления, различный рабочий инструмент и контрольные устройства информационно-измерительной системы.

Состав компонентов ГПМ сборки определяется конструктивными и технологическими особенностями объектов сборки, функциональными возможностями используемых ПР. Важным составным компонентом являются сборочные головки, оснащенные зажимными приспособлениями для закрепления сменных рабочего инструмента и захватов.

Наличие программируемой системы управления представляет возможность быстрой переналадки ГПМ на новый технологический процесс сборки без изменения компоновки оборудования. Система управления ГПМ сборки обычно имеет структуру микроЭВМ и выполняет следующие укрупненные функции: адаптивное управление рабочим инструментом, захватами и сборочными головками; синхронизацию работы всех структурных компонентов ГПМ; обеспечение взаимодействия ГПМ сборки с другим оборудованием ГПС; ввод и отладку управляющих программ; обработку информации системы очувствления, системы технического зрения и от датчиков контроля и диагностирования.

*Третий метод* заключается в расчленении сборочного процесса на группы элементарных операций и применении ГПМ, специализированных на выполнении сборочных операций отдельной группы. В этом случае используется несколько ПР более простой конструкции (по сравнению со вторым методом) и с меньшим числом степеней подвижности, а общий рабочий цикл всех ГПМ сборки задает управляющая ЭВМ автоматической линии или участка.

В качестве примеров успешной реализации стационарных методов сборки можно назвать робототехнические системы, функционирующие

в авиационной промышленности. ПР выполняют сборку различных агрегатов и узлов самолетов, включая сборку по стыковым швам заклепками.

Ручная клепка — монотонный, низкопроизводительный и вредный из-за вибрации для здоровья человека процесс. ПР в автоматическом режиме выполняют все операции клепки: позиционирование относительно собираемого узла самолета (панели одинарной или двойной кривизны, фюзеляжа и т. д.); выбор и замену инструмента; сверление отверстия и зенкование его под потайную головку заклепки; выбор нужной заклепки и установку ее в отверстие; клепку с предварительным сжатием соединяемого пакета деталей; зачистку замыкающей головки заклепки; контроль качества соединения; перемещение собираемого узла на шаг заклепок для повторения всех операций со следующей заклепкой.

При сборке современного пассажирского самолета требуется до 2 млн. заклепок диаметром от 1,5 до 10 мм разной длины. Для выполнения перечисленных операций клепки используется ГПМ из двух роботов. Один робот с многоинструментальной сборочной головкой располагается со стороны закладной головки заклепки, а второй — со стороны замыкающей головки. ПР могут выполнять клепку внутри закрытых объемов узлов самолета, собираемых как в стапелях, так и вне стапелей.

Специфика ПР для сборки связана с повышенными требованиями к точности позиционирования и выполнением различных сборочных операций. Собственно сборка деталей: может не требовать усилий на рабочем инструменте (сварка, пайка); может требовать больших усилий в направлении перемещения рабочего инструмента (запрессовка, выполнение заклепочных соединений); может требовать усилий на рабочем инструменте при одновременном сохранении ориентации сопрягаемых деталей (монтаж подшипников качения, установка штифтов); может требовать на рабочем инструменте крутящий момент или сочетание усилий (сборка резьбовых соединений, отбортовка, обжатие, установка пружин, выполнение байонетных соединений).

Поскольку частые смены захватов ПР приводят к снижению производительности сборки, то перспективно создание универсального программируемого захвата, пригодного для широкого диапазона размеров и форм собираемых деталей. Используется также установка на манипуляторе нескольких захватов с программируемым вводом в работу любого из них.

Применение ПР на операциях сборки обеспечивает эффективное решение комплекса задач автоматического контроля. Например, такой комплекс задач может состоять из поиска объекта сборки в рабочем пространстве, определения ориентации объекта, распознавания формы объекта, контроля перемещений объекта относительно захвата и захваченного объекта, размерного контроля деталей, контроля силовых параметров сопряжения деталей, проверки комплектности и контроля состояния окружающей среды.

Реализация подобных задач возможна лишь при наличии у ПР информационно-измерительной системы либо в составе системы управления ПР, либо в составе локальной вычислительной сети. При этом широкое применение находят системы технического зрения (на основе пе-

редающих телевизионных камер, видеоконвекторов, приборов с зарядовой связью, фотоматричных преобразователей), тактильные датчики касания, ультразвуковые дальномеры, силомоментные датчики с несколькими степенями подвижности, лазерные датчики, датчики захватного усилия, датчики положения, скорости и ускорения.

На рис. 7.11 показан пример компоновки ГПС сборки, имеющей участок подготовки (для ориентирования собираемых деталей и заполнения кассет), участок ГПМ сборки и контроля качества продукции, транспортные средства, автоматизированные склады (для кассет с деталями в ориентированном положении, комплектующих изделий, технологической оснастки и рабочего инструмента, готовой продукции), участок управления с ЭВМ и необходимыми терминалами.

Собираемые детали могут поступать в накопители подготовленными для подачи на сборочные модули, если на предшествующих операциях механической и термической обработки предусмотрено их соответствующее ориентирование. Такие детали, как и комплектующие изделия, могут транспортироваться либо на склад, либо на ГПМ сборки. Аналогично, детали, упорядоченные на участке подготовки, могут поступать в накопители и на промежуточное хранение на складе, и на сборку по вызову соответствующего ГПМ. Состав технических средств участка подготовки определяется сборочной технологичностью и номенклатурой деталей, их механическими и магнитными свойствами, типом и качеством базовых поверхностей.

ГПМ сборки обеспечивают комплектацию соединяемых компонентов и выполнение всех сборочных операций. Заявки на сборочные приспособления, захваты, головки и рабочий инструмент, необходимые для выполнения конкретных операций, формируются по признакам идентификации обслуживаемых деталей и технологических процессов. Применены совмещенные с рабочим инструментом захваты.

Соединение деталей требует высокой точности взаимного расположения сопрягаемых поверхностей и траектории их перемещения. Погрешности взаимного расположения поверхностей можно компенсировать. Активный способ компенсации основан на применении датчиков, измеряющих усилия и моменты, которые возникают при сопряжении деталей, и выдающих команды на дополнительные перемещения исполнительных узлов ПР и загрузочного устройства. При пассивном способе компенсации рабочий инструмент имеет кинематические элементы, обеспечивающие податливость (автопоиск) сопрягаемых поверхностей. Для автопоиска на деталях предусматриваются вспомогательные поверхности (фаски, конусы, скосы и т. п.)

Локальные транспортные устройства выполнены на основе линейных вибрационных конвейеров, стыкуемых с вибростолами для разделения материальных потоков (деталей, рабочего инструмента, технологической оснастки, готовых изделий). Все склады имеют автооператоры-штабелеры, производящие загрузку и разгрузку ячеек склада и передачу объектов транспортирования через вибрационный перегрузочный стол на робокраны и в обратном направлении.

О п т и м и з а ц и я технологических процессов сборки позволяет зна-



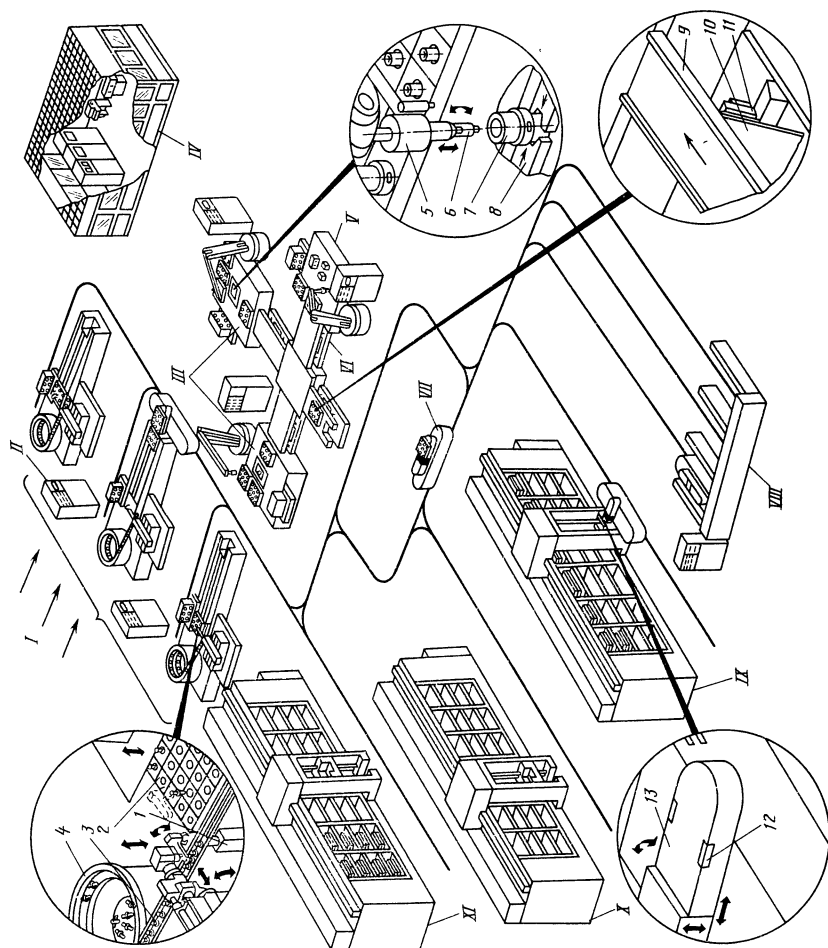


Рис. 7.11. Компонировка ГПС сборки механических узлов:

*I* — поток деталей, предназначенных для сборки; *II* — участок заполнения кассет; *III* — участок ГПМ сборки; *IV* — управляющая ЭВМ; *V* — модуль контроля качества продукции; *VI* — транспортные устройства; *VII* — робокраны; *VIII* — пост зарядки аккумуляторных батарей робокранов; *IX* — склад готовой продукции; *X* — склад рабочего инструмента и оснастки; *XI* — склад кассет с деталями и комплектующих изделий; *I* — отсекающий; *2* — кассета с деталями; *3* — устройство ориентирования деталей; *4* — бункер; *5* — сборочная головка; *6* — захват; *7* — базовая деталь собираемого узла; *8* — сборочное приспособление; *9* — вибрационный лоток; *10* — упругая подвеска; *11* — вибратор; *12* — маркеры; *13* — перегрузочный стол

чительно повысить эффективность работы ГПМ сборки за счет более полного использования их возможностей. Критериями оптимизации служат производительность и качество сборки, себестоимость выпускаемых изделий. АС ТПП сборки решает задачи выбора оптимальных схем базирования собираемых деталей, типизации операций сборки характерных соединений деталей, определения величин показателей качества сборки подвижных и неподвижных соединений, анализа размерных цепей, применения унифицированных исполнительных механизмов и рабочего инструмента, качественной оценки выполнения выбранным оборудованием операций сборки.

Решение этих задач характеризуется сложными алгоритмами. Например, алгоритм определения безотказности сборки содержит расчеты суммарных погрешностей сборки для наиболее распространенных типов соединений деталей. Сначала расчет проводят для одного случайного испытания, в результате которого определяют одно значение погрешности. Затем испытание многократно повторяют. Каждое испытание не зависит от всех остальных. ЭВМ выдает гистограмму распределения, граничные значения, математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение суммарной погрешности для заданных конкретных операций.

#### **7.4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГПМ**

Устройства и системы ЧПУ выдают управляющие воздействия на рабочие органы металлорежущих станков, пресов, молотов, сборочных автоматов, сварочных машин, роботов и других объектов управления ГПС в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии объектов. Управляющая программа (УП) содержит совокупность команд на языке программирования, соответствующую заданному алгоритму функционирования объекта управления при выполнении производственного задания. Алгоритмы управления ГПМ реализуются аппаратным, программным и программно-аппаратным способами.

В аппаратных устройствах ЧПУ (устройствах типа NC) все алгоритмы управления выполняются специальными электронными схемами, функции которых однозначно определены и не могут изменяться при эксплуатации. Функционирование таких устройств ЧПУ в виде цифровых моделей подчиняется неизменному циклу, в пределах которого электронные схемы работают параллельно и выполняют закрепленные за ними операции над вводимыми с помощью УП цифровыми кодами.

Особенности аппаратных устройств ЧПУ связаны с жесткостью их структуры и ограниченными функциональными возможностями из-за высокой стоимости специальных электронных схем. Хранение УП на перфолентах и их ввод отдельными кадрами приводит к снижению надежности устройств ЧПУ. Редактирование УП на ГПМ затруднено из-за необходимости многократно реперфорировать перфоленты. Эти устройства не приспособлены для управления разными объектами, а попытки создания их для каждой конкретной технологической задачи приводят к громоздкой

номенклатуре типов и модификаций, что вызывает серьезные трудности при изготовлении и эксплуатации.

Наиболее перспективным следует считать развитие средств ЧПУ, отвечающих требованиям свободной программируемости алгоритмов управления и унификации аппаратных устройств для различных технологических групп станков. Структуры, обладающие такими свойствами, основаны на использовании микропроцессорной техники. Алгоритмы их работы реализуются с помощью системного и специального программного обеспечения. Микропроцессорные системы ЧПУ (системы типа CNC) как совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих аппаратных и программных средств имеют характерные признаки управляющих ЭВМ: универсальность аппаратных устройств и программируемые связи между ними, последовательное выполнение алгоритмов управления через один центральный или несколько микропроцессоров, наличие оперативной и постоянной памяти большой емкости (см. рис. 2.1 и 2.3).

Чтобы универсальные по назначению микропроцессоры выполняли вполне определенные функции систем ЧПУ, они должны быть соответствующим образом запрограммированы. Для этого системы ЧПУ имеют специальное (функциональное) программное обеспечение, которое выполняет комплекс алгоритмов по переработке информации, поступающей в качестве УП. Программное обеспечение может вводиться в систему ЧПУ через те же устройства ввода, которые используют для УП. Тогда система ЧПУ является свободно программируемой. При других вариантах систем управления программное обеспечение может быть введено в постоянную память на стадии ее изготовления. Однако во всех случаях возможно изменение и дополнение программного обеспечения, благодаря чему микропроцессорные системы ЧПУ обладают высокой гибкостью. Их функциональные возможности практически не ограничены.

Принципиальной особенностью систем ЧПУ, построенных по структуре микроЭВМ, является последовательный характер выполнения команд программного обеспечения. Поскольку каждому управляющему воздействию на рабочие органы в реальном масштабе времени предшествует некоторый вычислительный цикл, возникают высокие требования к быстродействию всей системы управления. Микропроцессоры должны выполнять миллион и более операций в секунду. Если быстродействие одного микропроцессора недостаточно, то либо разделяют функции управления между несколькими микропроцессорами, работающими одновременно, либо часть функций управления передают аппаратным устройствам.

Совершенствование микропроцессорных систем ЧПУ связано с тремя поколениями структур. К первому поколению относятся однопроцессорные системы моноблочного исполнения (например, системы серии 2С, 2Р, «Электроника НЦ-31»). Ко второму поколению относятся мультипроцессорные системы с независимыми процессорами блочного и блочно-модульного исполнения (системы серии 3С, «Электроника МС 2101»). Третье поколение систем, ориентированное на оборудование ГПС, имеет локально-распределенное модульное исполнение. По мере освоения новых

поколений систем ЧПУ их используют в наиболее совершенных станках и ГПМ, а выпуск предшествующих исполнений уменьшается.

Типовая структурная схема микропроцессорного устройства ЧПУ изображена на рис. 7.12 на примере системы серии «Электроника НЦ-31», которая широко используется в различных токарных ГПМ для двухкоординатного управления. Конструктивно это устройство ЧПУ рассчитано на встройку в ГПМ.

Ввод управляющих программ может быть выполнен тремя способами: с помощью функциональной клавиатуры, с помощью внешней кассеты памяти и по каналу связи от ЭВМ верхнего уровня. Возможен также режим обучения, при котором в процессе ручного управления станком с помощью специального электронного штурвала одновременно с обработкой первой детали формируется управляющая программа для обработки последующих деталей в автоматическом режиме.

Микропроцессорная вычислительная система унифицированного ряда «Электроника НЦ» допускает гибкую аппаратную архитектуру, каждый вариант которой должен соответствовать конкретным задачам, поставленным перед устройством ЧПУ. Архитектура УЧПУ обеспечивается функционально и конструктивно законченными модулями.

Модули УЧПУ взаимодействуют между собой через унифицированную магистраль МНЦ типа общая шина. Обмен информацией осуществляется 16-разрядными словами. Предоставление магистрали одному из модулей, запросивших обмен, выполняется арбитром магистрали, входящим в состав процессора. Дополнительный канал связи модулей, управляемый адаптером магистрали, усиливает функциональную гибкость системы ЧПУ и позволяет упростить аппаратную реализацию модулей. Программируемый таймер выполняет функцию отсчета программно задаваемых интервалов времени. Задание на отработку интервала времени поступает в таймер от процессора и по окончании отработки сообщается процессору, вызывая его прерывание.

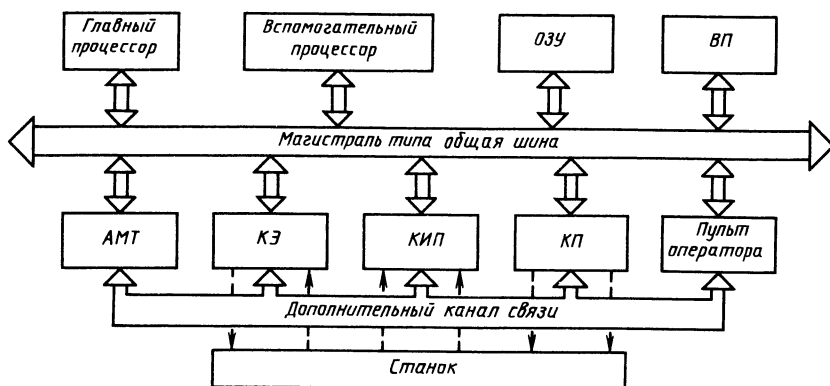


Рис. 7.12. Структурная схема устройства ЧПУ «Электроника НЦ-31»:

ОЗУ — оперативное запоминающее устройство; ВП — кассеты внешней памяти; АМТ — адаптер магистрали и таймер, КЭ — контроллер электроавтоматики станка, КИП — контроллер измерительных преобразователей, КП — контроллер приводов подачи

При необходимости обмена информацией с одним из контроллеров или пультом оператора запрашивается разрешение на выход в магистраль и после получения разрешения генерируется адрес вызываемого устройства. Адаптер магистрали преобразует этот адрес в соответствующее сообщение.

Устройство ЧПУ «Электроника НЦ-31» имеет в своем составе: 16-разрядные главный и вспомогательный микропроцессоры с ПЗУ на 16 К слов; ОЗУ на 4 К слов; внешние кассеты электронной памяти на 4 К слов; пульт оператора с функциональной клавиатурой и устройством отображения информации на плазменном дисплее; интерфейс приводов подачи и электроавтоматики станка; адаптер магистрали; устройство программируемых временных задержек — таймер; блок питания. Базовое программное обеспечение заносится в масочное ПЗУ на этапе изготовления устройства.

Контроллер приводов подачи обеспечивает контурное управление движением продольного и поперечного суппортов, выполняя преобразование двоичных кодов скоростей подачи в соответствующие этим кодам аналоговые сигналы. Контроллер измерительных преобразователей обрабатывает импульсные сигналы от датчиков положения суппортов, датчика резьбонарезания, расположенного на шпинделе, и датчика штурвала ручного управления.

Контроллер электроавтоматики выполняет электрическое согласование сигналов между УЧПУ и электрооборудованием ГПМ, формирует прерывание микропроцессора при поступлении сигналов от датчиков исполнительных механизмов ГПМ. Имеется возможность адресного запрета (маскирования) прерывания.

Модуль пульта оператора обеспечивает взаимодействие оператора с системой ЧПУ. Дисплей позволяет индцировать содержание кадра управляющей программы и информацию о состоянии УЧПУ. Функциональные клавиши пульта служат для ввода управляющих программ и задания различных режимов работы системы ЧПУ.

Модуль внешней памяти, выполненный в виде съемных кассет электронной памяти, расширяет объем ОЗУ. Этот модуль позволяет накапливать библиотеку отлаженных управляющих программ обработки деталей на ГПМ. Кассеты имеют аккумуляторный источник питания, позволяющий сохранять информацию не менее 100 ч.

Система ЧПУ имеет развитое специальное программное обеспечение, ориентированное на выполнение всех необходимых функций токарной обработки. В режиме технологических циклов выполняется продольное и поперечное точение, многопроходная черновая обработка, нарезание резьбы, обработка цилиндрических и торцовых канавок, глубокое сверление.

Предусмотрена возможность параметрического задания подпрограмм циклов обработки и выполнения команд условных переходов по внешнему сигналу. Кроме того, используется удобный метод корректирования положения режущего инструмента повторным выходом в режим размерной привязки, в результате чего система ЧПУ автоматически формирует величины корректоров и заносит их значения в специальную область

памяти. Область памяти корректоров доступна по записи и чтению с пульта оператора.

Одна из первых отечественных мультипроцессорных систем ЧПУ представлена серией «Электроника МС 2101». В зависимости от типа ГПМ и набора решаемых задач управления в состав УЧПУ входят два, три и более блоков, содержащих типовые модули. Каждый блок имеет отдельный вычислитель. Составом типовых модулей в блоках можно варьировать. Дисплейный блок устанавливают на станке, а остальные блоки и ПК встраивают в шкаф электрооборудования.

Вычислитель каждого блока имеет арифметико-логический узел (АЛУ), ПЗУ, ОЗУ, узел синхронизации, интерфейс и узел прерываний. АЛУ предназначен для выполнения арифметических и логических действий над операндами и формирования адресов команд и операндов. ПЗУ объемом до 20 К 16-разрядных слов служит для хранения неизменяемых при эксплуатации системы ЧПУ программ математического обеспечения. При обращении к ПЗУ возможно только чтение информации.

ОЗУ объемом до 16 К слов используют для хранения переменных программ математического обеспечения и операндов. При отключении питающего напряжения автоматически обеспечивается регенерация информации в ОЗУ.

Дисплейный модуль, выполненный на основе плазменного дисплея, позволяет выводить буквенно-цифровую и графическую информацию, редактировать ее. Возможен ввод управляющих программ с клавиатуры пульта, перфоленты через фотосчитывающее устройство, кассеты внешней электронной памяти на цифровых магнитных доменах и ЭВМ верхнего уровня. Вывод отлаженных управляющих программ осуществляют на перфоленту через перфоратор или на кассету внешней памяти. Съемные кассеты позволяют не только хранить библиотеку управляющих программ и подготавливать их вне станка, но и расширяют состав сервисных программ.

В системе «Электроника МС 2101» реализовано аппаратными и программными средствами развитое самодиагностирование. Например, в АЛУ предусмотрены прерывания по резервной команде, ошибке обращения к шине и нарушению питания. В интерфейсной части осуществляется контроль на четность информации и контролируется соблюдение протокола обмена данными. В ПК имеется защита сигнала «Готовность УЧПУ» для чего этот сигнал периодически подтверждается. С целью повышения помехоустойчивости в каналах связи с электроавтоматикой станка установлены оптроны для гальванического разделения входных и выходных цепей. Широко используют программные диагностические тесты, разработанные изготовителем УЧПУ. Внешние аппаратные средства, подключаемые к разъемам печатных плат УЧПУ, служат для обнаружения отказавшего электронного элемента при отладке отдельных модулей.

Самодиагностирование системы ЧПУ выполняется до начала рабочих режимов и во время функционирования в фоновом режиме. Фоновые задачи контроля инициируются в свободное процессорное время с одним из низших приоритетов. При этом УЧПУ автоматически переводится в фоновый режим выполнения тестов. Несовпадение результатов выпол-

нения тестов с заданными ранее константами рассматривается системой диагностирования как ошибка функционирования УЧПУ, и на экран дисплея выводится информация (код) о виде ошибки. До начала работы выполняется программа резидентного теста, который входит в состав системного программного обеспечения, хранится в ПЗУ и контролирует около 90 % электронного оборудования УЧПУ. Тесты различных блоков системы работают независимо друг от друга.

Системное программное обеспечение включает в себя ряд типовых программных модулей, входящих в операционную систему (ОС) реального времени. В функции ОС ЧПУ входит обеспечение взаимодействия аппаратуры и специальных программ ЧПУ, а также определение стандартных способов взаимодействия между программами в реальном масштабе времени.

Специальное (функциональное) программное обеспечение в значительной степени определяет уровень микропроцессорной системы ЧПУ. Объем программных средств может составлять от 8 Кбайт для простых систем ЧПУ до 1,5 Мбайт и более для многокоординатных систем с полным набором функций управления сложными ГПМ.

Ниже приведен перечень основных функций, выполняемых аппаратурными и программными средствами микропроцессорных систем ЧПУ применительно к задачам управления ГПМ. В зависимости от исполнения конкретного ГПМ число модулей программного обеспечения и соответственно аппаратная часть системы ЧПУ модифицируются.

Ввод и хранение функционального программного обеспечения. Настройка микропроцессорной системы ЧПУ для работы с конкретным оборудованием ГПС производится однократно путем ввода информационного массива — функционального программного обеспечения. Для ввода используют либо перфоленту, либо канал связи с ЭВМ верхнего уровня. Память для хранения программного обеспечения должна быть энергонезависимой, т. е. должна сохранять информацию длительное время при отключении питающей электросети.

Ввод и хранение УП. Управляющая программа может быть введена с перфоленты, магнитной ленты, кассеты внешней электронной памяти, вручную с помощью функциональной клавиатуры на языке высокого уровня (макрокоманд), по каналу связи с ЭВМ. Обычно объем энергонезависимой памяти системы ЧПУ позволяет вводить и сохранять любое время всю УП. Если объем памяти недостаточен, то организуют режим подпитки: во время выполнения части УП, которая может содержать десятки кадров, по мере освобождения памяти вводят оставшуюся часть этой программы.

В аппаратных устройствах ЧПУ возможен лишь покадровый ввод УП. Наличие буферной (промежуточной) памяти, содержащей один кадр, предотвращает перерывы в движениях рабочих органов во время ввода очередного кадра.

Стандартное фотосчитывающее устройство, широко применяемое в ЭВМ и самых различных автоматизированных системах, предназначено для формирования последовательности электрических импульсов, которые соответствуют комбинации пробитых на каждой строке перфо-

ленты отверстий. Это устройство имеет лентопотяжный механизм, столик со сквозной щелью, за которой расположена головка с набором фотоэлементов, и подсветку с противоположной стороны столика. Лентопотяжный механизм обеспечивает продольное перемещение относительно фотоэлементов и подсветки. Световой поток фокусируется в узкую полосу, и каждой комбинации отверстий строки 8-дорожковой перфоленты соответствует комбинация освещенных фотоэлементов, на выходе которых появляются электрические импульсы. Скорость считывания кодов с перфоленты составляет до 800 строк в секунду.

**Интерпретация кадра.** Обработка очередного кадра УП требует проведения предварительной переработки информации кадра. При этом выполняется дешифровка и распределение числовой информации кадра по адресам запоминающих устройств (распаковка кадра), контроль и перевод числовых данных из десятичной системы в двоичную, анализ подготовительных функций и формирование признаков для выбора соответствующих алгоритмов работы системы ЧПУ, подготовка команд вызова технологических циклов, анализ вспомогательных функций и формирование команд управления электроавтоматикой станка, анализ признаков учета корректирующих поправок на размеры режущего инструмента и траектории его перемещения относительно обрабатываемой детали, расчет исходных данных для интерполяции, анализ признаков торможения и расчет тормозного пути. Контроль ввода необходим для выявления ошибок, допущенных при подготовке и вводе управляющих программ. В буквенно-цифровом коде ISO — 7 bit, применяемом в системах ЧПУ, предусмотрен контроль информации на четность. Кроме того, проводится синтаксический контроль текста УП.

Совокупность всех подпрограмм предварительной переработки информации кадра называют программой интерпретации. Для обеспечения непрерывного управления рабочими органами станка процедуры интерпретации очередного кадра должны быть выполнены во время отработки предыдущего кадра.

В процессе механообработки можно вводить по команде от УП **корректирование** либо относительного положения инструмента и заготовки, либо размеров инструмента, заданных программой. Например, при фрезеровании выполняется корректирование радиуса концевых фрез и автоматический расчет траектории движения центра инструмента, являющейся эквидистантой обрабатываемого контура детали. Необходимые величины корректирования и размеры инструмента оператор задает с помощью средств панели управления. В ходе механообработки можно изменять их значения без изменения текста УП. После ввода кадра, содержащего обращение к определенному программному или аппаратному корректору, опрашивается этот корректор и осуществляется перерасчет заданных программой перемещений по координатам. Алгоритм управления приводами подачи выполняется с учетом этого пересчета.

**Панель управления** имеет оперативные средства ручного управления (функциональные клавиши, переключатели, поле набора кадра УП, поле корректоров) и средства индикации (алфавитно-цифровой или графический дисплей, индикаторные и сигнальные лампы, синтезирующие



индикаторы). Для идентификации множества команд и сигналов используют мнемонические изображения. На панели управления задаются режимы работы (автоматический, наладочный, остановка на выбранном кадре, ручное управление, ввод информации с внешних носителей, ввод констант корректирования, вывод информации на внешние носители, тестовый и другие виды контроля), выполняется контроль и редактирование УП, индентификация информации УП и результатов ее отработки, корректирование скорости подачи и скорости главного движения, контроль параметров электрических сигналов в любых точках электронных узлов при наладке и поиске неисправностей системы ЧПУ.

Применение микропроцессорной техники в составе систем ЧПУ позволяет автоматизировать подготовку и отладку УП с помощью развитых панелей управления. Возможен ручной ввод УП без программноносителя на специальных языках программирования высокого уровня, близких к естественному языку. При обработке первой детали проводится отладка УП, ее редактирование в режиме диалога, а затем многократное использование в технологическом процессе. Команды, вводимые с панелей управления, обычно носят укрупненный характер (макрокоманды), а их детализация до уровня команд микропроцессоров выполняется автоматически.

Реализация технологических циклов. Выделение повторяющихся участков УП в автоматические циклы сокращает объем работ при программировании и объем УП. Циклы соответствуют повторяющимся участкам обрабатываемых деталей, сверлильным, расточным, фрезерным и другим технологическим операциям механообработки. Одна команда вызова автоматического цикла заменяет до десяти и более кадров УП. Особенно эффективна программная реализация циклов в виде подпрограмм специального программного обеспечения.

Вычислительный узел выполняет арифметические и логические операции, набор которых существенно различается при контурном и позиционном управлении. Контурное управление необходимо для взаимосвязи координатных перемещений рабочих органов станков, что имеет место при механообработке фасонных тел вращения, профильных дисковых и цилиндрических кулачков, штампового инструмента и других деталей машин. Позиционное управление характерно для сверлильных, расточных и других операций, при которых перемещение рабочих органов происходит на заданные программной позиции (точки), а траектория перемещения не задается, не контролируется.

Исходная информация в УП для контурного управления рассчитывается по чертежу обрабатываемой детали только в характерных опорных точках ее поверхности. Однако для осуществления процесса формообразования нужно, чтобы в каждый момент времени обеспечивалось согласованное движение рабочих органов по двум или большему числу координат, т. е. сигналы управления на привод подач по каждой координате должны поступать непрерывно в соответствии с требуемым законом движения.

Под интерполяцией понимают получение с требуемой точностью координат промежуточных точек траектории одновременного движения

двух и более рабочих органов по координатам крайних (опорных) точек и заданной функции, описывающей эту траекторию. Программный или аппаратный интерполятор выдает на приводы всех управляемых одновременно рабочих органов за время отработки одного кадра определенное число импульсов. На каждый импульс интерполятора привод осуществляет перемещение рабочего органа на величину одной дискреты (например 0,01 мм). Интерполяция по двум, трем и большему числу координатных перемещений осуществляется при выполнении алгоритмов решения дифференциальных или алгебраических уравнений прямой линии, окружности, полинома разного порядка и других кривых.

При позиционном управлении происходит либо перемещение рабочих органов на ускоренном ходу в заданные координаты с заданной точностью, либо их перемещение на скорости подачи для обработки поверхностей с образующими, параллельными направляющим базовых деталей ГПМ. Многочисленные режимы позиционирования вывода рабочего органа в заданные УП позиции реализуются программным и аппаратным способами с помощью алгоритмов вычисления величин рассогласования заданного и действительного положения рабочего органа. Интерполяция при этом не нужна.

Приводы подач с датчиками положения рабочих органов и устройства электроавтоматики с датчиками состояния являются объектами управления в ГПМ. Интерфейсная часть систем ЧПУ содержит узлы связи с этими объектами управления.

В наиболее общем случае задача управления приводами подач сводится к организации цифровых следящих систем для каждого координатного перемещения рабочего органа. На вход системы поступают импульсы или цифровые коды, которым должно соответствовать заданное линейное или угловое перемещение. Функционирование программных и аппаратных элементов связи с приводами подач как в режиме контурного, так и позиционного управления определяется типами применяемых приводов, датчиков положения и способами регулирования скорости перемещения. Вариантность указанных факторов чрезвычайно многообразна. Следует отметить, что в ГПМ механообработки наиболее перспективны высокомоментные электродвигатели постоянного тока и электродвигатели переменного тока с частотным регулированием, а среди датчиков положения — индуктосины, резольверы и фотоэлектрические датчики.

Кроме управления координатным перемещением, в цифровых следящих системах необходима организация некоторых вспомогательных режимов. Так, при использовании датчиков положения фазового типа обеспечивается питание обмоток датчиков и выполняется согласование сигналов перед первым включением системы ЧПУ. Согласование заключается в подборе кода задания, отвечающего истинному положению датчика.

Управление электроавтоматикой (логическое управление) связано с формированием битовых команд типа ВКЛЮЧИТЬ и ОТКЛЮЧИТЬ. Такие команды используют для управления главным приводом, инструментальным магазином, устройствами замены инструмента и заготовок, вспомогательными операциями по зажиму заготовок,

подводу охлаждающей жидкости, отводу стружки. Интерфейс принимает от датчиков состояния устройств электроавтоматики эхосигналы о выполнении команд и осуществляет согласование электрических параметров сигналов управляющих схем и электрооборудования станка.

К исполнительным устройствам электроавтоматики ГПМ относятся пускатели, электромагнитные муфты и тормоза, путевые переключатели, гидравлическая и пневматическая аппаратура с электроуправлением, всевозможные датчики. Можно выделить пять групп сигналов, обрабатываемых интерфейсом: командные входы, требующие подтверждения (т. е. непрерывного опроса состояния) в процессе выполнения команд; командные входы однократного действия; опрашиваемые входы состояния ГПМ; инициативные командные входы; инициативные входы состояния ГПМ.

На первые три вида входов поступают сигналы от УП, панели управления и датчиков ГПМ, фиксирующих положение исполнительных механизмов. Эти входы опрашиваются выборочно в заранее предусмотренных ситуациях в соответствии с программой или процедурой наладки. Последние два вида входов имеют приоритет перед остальными, и их команды должны исполняться сразу же после появления. Прежде всего к ним относят аварийные и блокировочные команды.

В зависимости от полученной команды объем логических задач, решаемых электроавтоматикой ГПМ, может быть различным: от включения единичного перемещения исполнительного механизма до выполнения сложной последовательности операций с анализом промежуточных состояний механизмов и выбором решений. Так, по команде включения заданной механической ступени частоты вращения шпинделя выполняется одна операция, а по команде смены режущего инструмента — цикл операций (освобождение находящегося в шпинделе инструмента, перенос его в свободную ячейку магазина, поиск в магазине нужного инструмента и перенос его в шпиндель, зажим нового инструмента в шпинделе).

Интерфейс электроавтоматики ГПМ можно изготовить на базе интегральных логических микросхем или программируемых контроллеров либо в виде автономного устройства, либо в виде модуля, входящего в состав системы ЧПУ. Использование программируемых контроллеров позволяет решать задачи управления электроавтоматикой более гибкими средствами программного обеспечения.

Корректирование погрешностей механических передач, базовых деталей и датчиков положения рабочих органов возможно с использованием их предварительной аттестации. Результаты аттестации, полученные с помощью высокоточных измерительных средств, заносятся в память системы ЧПУ в виде таблиц погрешностей. Например, для передач типа винт-гайка качения такая таблица содержит внутришаговые и накопленные погрешности. При отработке УП текущая информация о положении рабочих органов ГПМ корректируется данными из таблиц погрешностей.

Для автоматического учета погрешности установки заготовки и определения размеров инструмента необходимо наличие на ГПМ средств встроенного контроля. В качестве простейшего средства может быть использован щуп с замыканием контактов при касании любой поверхно-

сти. С помощью такого щупа можно произвести измерение заготовки с целью определения ее положения относительно координатной системы станка. Можно также провести оптимальный выбор исходной точки обработки так, чтобы припуски со всех сторон были бы примерно одинаковы.

Перспективно применение в системах ЧПУ контуров адаптивного управления, которые повышают качество и производительность обработки за счет адаптации к конкретным условиям (силы резания, припуски на обработку, твердость обрабатываемого материала, износ инструмента и т. д.).

Обмен информацией с ЭВМ верхнего уровня при работе микропроцессорных систем ЧПУ в составе ГПС ведется через унифицированную систему сопряжения — интерфейс. Соединение устройств между собой осуществляется линиями связи. Группу линий связи, предназначенных для выполнения операций обмена данными, называют шиной интерфейса. Назначение отдельных шин и линий, их номенклатура и взаимное расположение являются определяющими для характеристики интерфейса.

В любой структуре линии связи можно выделить центральное и периферийное устройство. Так, микропроцессорную систему ЧПУ можно рассматривать как центральное устройство рабочих органов станка и терминалов ввода-вывода технологической информации. Однако в ГПС, где центральное место занимает ЭВМ верхнего уровня, сама система ЧПУ является периферийным устройством по отношению к ЭВМ.

Возможны четыре варианта построения интерфейса, различающиеся топологией шин. В системе, выполненной по цепочечной структуре (рис. 7.13, а), линии связи проходят последовательно через все периферийные устройства (ПУ), причем вход последующего устройства связан с выходом предыдущего.

В системе с радиальной структурой (рис. 7.13, б) центральное устройство связано с помощью индивидуальной шины с каждым ПУ через отдельные приемно-передающие устройства (ППУ). Обмен информацией может осуществляться по инициативе и центрального, и периферийного устройств. В последнем случае одно из ПУ вырабатывает сигнал с требованием связи, а центральное устройство определяет его адрес и осуществляет обмен данными.

При радиальной структуре необходима система приоритетов ПУ, поскольку заявки на обслуживание могут поступать одновременно от нескольких устройств, а реализуется обмен информацией лишь с одним из них. Приоритет присваивается в зависимости от вида и технических характеристик ПУ, важности и срочности поступающей информации.

В системе с магистральной структурой (рис. 7.13, в) имеется общая для всех устройств шина. Возникающие в магистрали сигналы доступны всем подключенным ПУ, но в каждый момент времени только одно из них может быть связано с центральным устройством, передавать сигналы и реагировать на них.

Сравнивая варианты структур, можно отметить более высокую надежность радиальной структуры интерфейса, поскольку выход из строя одного ППУ или индивидуальной шины нарушает обмен информацией лишь



щее устройство, получив сигнал ответа, снимает передаваемый сигнал. Время асинхронной передачи данных — переменное и зависит от параметров линии и конкретных устройств, участвующих в передаче. Этот способ обладает преимуществами в тех случаях, когда периферийные устройства расположены на различном расстоянии, и разброс характеристик линий связи, приемных и передающих устройств значителен.

По линиям интерфейса передают сигналы, которые относятся к информационным, адресным, командным, известительным и сигналам управления. Разделение во времени функционального назначения одних и тех же шин (мультиплексирование шин) позволяет значительно сократить число линий в интерфейсе. Однако при этом усложняются программы передачи данных и оборудование приемно-передающих устройств.

Создание новых поколений систем ЧПУ для ГПМ базируется на увеличении вычислительной мощности микропроцессорных систем, определяемой быстродействием и разрядностью интегральных элементов, объемом памяти и набором команд. Характерным является непрерывное увеличение объема программного обеспечения. Аппаратная часть устройств ЧПУ различных исполнений унифицирована и основное их отличие определяется составом программного обеспечения. Системы ЧПУ все в большем объеме реализуют функции адаптивного управления, алфавитно-цифрового и графического отображения информации на цветном дисплее, подготовки и редактирования УП в режиме разделения времени, автоматического контроля и диагностирования. Вопросы контроля работы систем ЧПУ, исключающие сбойные и аварийные ситуации, важны для обеспечения надежного функционирования как отдельных ГПМ, так и ГПС в целом.

## **7.5. ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ГПМ**

Качество, продолжительность и стоимость подготовки управляющих программ решающим образом определяют эффективность работы оборудования с ЧПУ. Поэтому с первых шагов промышленного применения этого оборудования развиваются автоматизированные методы его программирования, которые по сравнению с подготовкой УП вручную существенно сокращают продолжительность и трудоемкость всех этапов одновременно с резким повышением качества УП.

Подготовка УП заключается в составлении последовательности команд, которые могут быть автоматически выполнены системой управления для получения нужного производственного цикла. Текст готовой программы либо вводится в систему ЧПУ с помощью функциональной клавиатуры, либо записывается на программноносителе (чаще всего на 8-дорожковой перфоленте).

В укрупненном виде можно выделить следующие основные этапы подготовки УП: 1) разработку технологического процесса; 2) выбор конкретного оборудования с ЧПУ для реализации этого процесса; 3) определение последовательности переходов, выбор контрольных точек; 4) выбор рабочего инструмента и назначение режимов обработки; 5) расчет траектории движения используемого рабочего инструмента; 6) формиро-

вание кадров УП, подготовительных и вспомогательных команд, введение корректоров и подпрограмм; 7) кодирование информации УП и запись на программоносителе; 8) контроль и отладка УП; 9) подготовка сопроводительной документации; 10) пробная обработка.

Автоматизация подготовки УП с применением универсальных и специализированных средств вычислительной техники требует разработки соответствующего методического, лингвистического, математического, программного, информационного и организационного обеспечения. Системы автоматизированного программирования (САП) различают по назначению, уровню автоматизации, проблемно-ориентированному языку записи и вводу в ЭВМ исходной информации, параметрам используемых ЭВМ и режимам их работы при подготовке УП.

По назначению следует различать специализированные, универсальные и комплексные САП. Специализированные САП предназначены для конкретных моделей ГПМ и многоцелевых станков с ЧПУ, отдельных ГПС, а также отдельных групп и классов обрабатываемых деталей. Универсальные САП ориентированы на технологические группы оборудования с ЧПУ (например, ГПМ токарные, зубообрабатывающие, шлифовальные, газорезательные, для обработки корпусных деталей, пробивки и высеки листового металла, холодной штамповки и т. д.). Комплексные САП объединяют ряд специализированных и универсальных систем на базе единого входного языка и общих алгоритмов, решающих идентичные задачи при программировании оборудования с ЧПУ различных технологических групп.

Уровень автоматизации САП характеризуется объемом выполняемых с помощью ЭВМ этапов подготовки УП. При низком уровне автоматизации ЭВМ производит геометрические расчеты, кодирование информации и запись ее на программоносителе. При более высоком уровне автоматизации ЭВМ дополнительно решает технологические задачи различного состава, задачи по оптимизации маршрутной и операционной технологии, приближаясь к полной замене технолога-программиста на всех десяти этапах подготовки УП.

Формы записи исходной информации в различных САП разнообразны: свободная словарная, упорядоченная словарная и табличная. Свободная словарная запись представляет собой произвольную последовательность фраз, структура которых подчиняется синтаксису принятого проблемно-ориентированного входного языка. Эта форма записи позволяет оперировать широким набором понятий, используемых в универсальных САП. Недостаток записи свободным текстом — большое число правил, которые должен знать пользователь, и сложность транслятора перевода текста исходной информации в канонический вид, удобный для обработки на ЭВМ.

Сокращение объема записи достигается применением аббревиатуры, сокращенных обозначений и специальных бланков, графы которых отображают структуру фраз входного языка. Это дает возможность исключить в исходном тексте названия часто встречающихся параметров и величин, упорядочить запись, уменьшить вероятность пропуска данных.

Табличная запись наиболее лаконична и принята в специализированных САП, узкая ориентация которых позволяет при задании исходной информации учитывать характерные особенности технологических процессов.

Входной проблемно-ориентированный язык САП должен быть прежде всего простым. Данные с чертежей и технологических документов следует переносить в текст исходной информации без изменения обозначений и пересчета размеров, что позволяет эксплуатировать САП при отсутствии специальных знаний в области вычислительной техники, а случайных ошибок становится меньше. Содержание исходных данных зависит от уровня автоматизации САП. При высоком уровне автоматизации в исходных данных необходимо лишь описание готовой детали, требований к ней и основных размеров заготовки.

Параметры используемых ЭВМ (вычислительная мощность, производительность, комплектность, тип операционной системы, стоимость, гибкость применения) существенно увеличивают вариантность САП, влияют на их технико-экономические показатели. Общей тенденцией развития отечественных и зарубежных САП является применение резидентных средств подготовки УП в составе микропроцессорных систем ЧПУ и персональных микроЭВМ.

Организация работы ЭВМ с помощью операционных систем допускает два основных режима подготовки УП: пакетный и диалоговый. **Пакетный** режим предполагает последовательное по мере высвобождения ресурсов ЭВМ выполнение группы заданий. **Диалоговый** режим обеспечивает непрерывную связь с ЭВМ одного или нескольких пользователей. Выбор схемы диалогового режима определяется составом внешних устройств ЭВМ и возможностями алгоритмов САП. При этом особенно эффективно использование графических дисплеев.

Чтобы запрограммировать, например, процесс токарной обработки детали типа тела вращения, оператор строит на экране графического дисплея контур готовой детали и контур заготовки. Задавая технологические инструкции, он получает на том же экране соответствующие траектории перемещений каждого режущего инструмента, рассчитанные ЭВМ.

Такой режим работы дает возможность оператору визуально контролировать формирование кадров УП, вносить любые изменения в ранее заданные инструкции и при необходимости быстро и своевременно исправлять допущенные ошибки. Для большей наглядности контуры детали, заготовки и траектории перемещений инструмента можно изображать разноцветными линиями различных типов.

Графические задачи САП относят к области машинной графики: построение моделей графических элементов, генерация и преобразование изображений, их идентификация и т. д. Под моделью здесь понимают формализованное описание графических элементов, которое может быть принято ЭВМ и по команде пользователя представлено в виде графического образа на экране дисплея или чертежном автомате. Так, моделью операционного эскиза детали служит массив координат точек сопрягаемых элементов поверхности детали с указанием признаков



цветности и типа линий. Этот информационный массив может быть преобразован в дисплейный список для генерации изображений.

Прогресс в станкостроении, в технологии получения заготовок и механообработки, в развитии систем управления ГПМ и средств вычислительной техники предопределяет постоянное совершенствование и повышение уровня автоматизации САП. В нашей стране и за рубежом функционируют сотни самых различных САП с учетом их модификаций и многочисленных версий для различных ЭВМ.

САП имеют характерные черты современных сложных вычислительных систем. Все их составные части служат достижению единой цели — получению качественных управляющих программ для оборудования с ЧПУ и необходимой сопроводительной документации. В них взаимодействует большое количество компонентов в виде программных блоков и модулей, а также массивов данных (банков постоянной информации), характеризующих оборудование, системы ЧПУ, оснастку и технологические циклы. Взаимодействие состоит в обмене информацией между компонентами и упорядоченности их функционирования.

Для рационального построения программного обеспечения САП используют многоуровневые иерархические структуры. Состав и виды связей компонентов определяют сложность систем. Структура универсальных и многих специализированных САП построена по принципу последовательной работы двух основных программных блоков: процессора и постпроцессора (рис. 7.14).

Процессор как основной вычислительный блок вырабатывает общее решение по технологии обработки детали без связи с конкретным ГПМ и системой ЧПУ. Постпроцессор воспринимает результаты работы

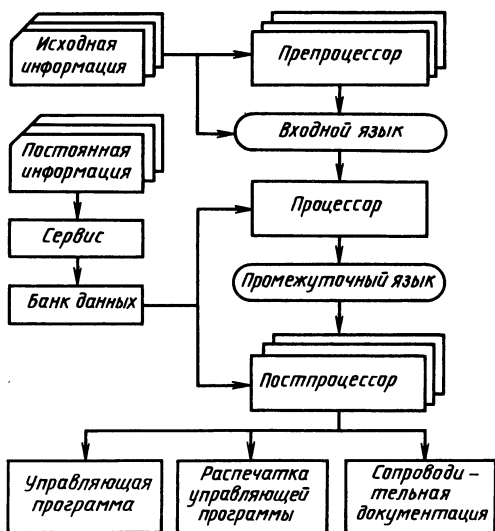


Рис. 7.14. Структурная схема системы автоматизированного программирования

процессора на промежуточном языке, обрабатывает их и формирует УП для конкретной модели ГПМ. Поскольку алгоритмы, по которым выполняется разработка УП, зависят от имеющихся комбинаций «ГПМ — система ЧПУ», то все универсальные САП снабжают набором сменных программ-постпроцессоров (библиотекой постпроцессоров). По мере изменения состава оборудования с ЧПУ на предприятии меняется состав библиотеки постпроцессоров. Пользователь, подготавливая исходную информацию на входном языке САП, может полу-

чать на выходе постпроцессоров управляющие программы в кодах различных систем ЧПУ.

Повышение уровня унификации систем ЧПУ приводит к соответствующей стабилизации как общей структуры САП, так и программ постпроцессоров. Если система ЧПУ используется на ГПМ различных моделей, то целесообразна разработка обобщенного постпроцессора, который составляется из основного блока, применимого ко всем ГПМ, и набора подпрограмм, отражающих специфические особенности каждого ГПМ. Чтобы привязать новый ГПМ к такому постпроцессору, достаточно ввести в САП новую подпрограмму.

Унификация постпроцессоров и необходимость их стыковки с различными САП потребовали принятия единого промежуточного языка «процессор — постпроцессор». На основе рекомендаций ISO установлен такой язык — CLDATA. Фразами языка являются отдельные записи последовательности логических слов, образующихся из сокращений и аббревиатуры технологических понятий на английском языке. Логическими словами могут быть также целые и дробные десятичные числа, применяемые для задания значений технологических параметров, и произвольные сочетания буквенно-цифровых символов, с помощью которых могут быть заданы наименования обрабатываемых деталей и оборудования, режимы работы постпроцессоров, идентификаторы геометрических элементов и текст сопроводительной документации.

Специализированные САП не имеют явного структурного деления на процессор и постпроцессор, если они предназначены для конкретных моделей ГПМ. В частности, микропроцессорные системы ЧПУ обычно имеют возможность реализации многих геометрических расчетов и технологических задач, характерных для специализированных САП.

В состав наиболее совершенных САП могут входить дополнительные блоки-препроцессоры, которые призваны формировать по типовой технологии план изготовления деталей отдельных технологических групп и классов. Препроцессоры позволяют достаточно просто развивать САП, расширяя их функциональные возможности.

Постоянная информация банков данных вводится в ЭВМ в табличной форме программным блоком «Сервис», который систематизирует данные и заносит их в долговременную память. Обращение к банку данных ведется по указываемым в исходной информации названиям оборудования, систем ЧПУ, оснастки и материалов заготовок. Возможно также обращение к банку данных в ходе выполнения алгоритмов САП.

В качестве примеров отечественных систем автоматизированного программирования ГПМ механообработки можно назвать Единую систему программирования станков ЕСПС-ТАУ и систему «ТЕХНОЛОГ». Среди зарубежных распространены системы MODUL (страны СЭВ), AUTOTECH (ГДР), MICROAPT и FARTS (Япония), GTL (Италия), UNIAPT (США), AUTOPROGRAM (ФРГ) и многие другие.

ЕСПС-ТАУ, являющаяся комплексной САП, создана с учетом опыта разработки и широкого применения типизированных универсальных систем ТАУ-Т (для токарных работ), ТАУ-С (для операций типа свер-

лильных), ТАУ-СРФ (для сверлильно-расточно-фрезерных операций на ГПМ), ТАУ-Ф (для контурной фрезерной, профилишлифовальной и электроэрозионной обработки). Эти универсальные системы объединяет: общность структуры по схеме «препроцессор — процессор — постпроцессор»; универсальный входной язык, предусматривающий как свободную, так и упорядоченную словарную запись исходной информации; единая база данных о станках, системах ЧПУ, режущем инструменте, технологической оснастке и обрабатываемых материалах; единый промежуточный язык CLDATA; общие программные модули для переработки анкет постоянной информации базы данных, решения идентичных задач программирования станков различных технологических групп и ГПМ, формирования сопроводительной документации с учетом требований потребителей.

ЕСПС-ТАУ реализована на ЕС ЭВМ, СМ ЭВМ и персональных ЭВМ. Для каждого типа ЭВМ используется определенный набор программных модулей. Необходимый минимальный объем оперативной памяти — 64 Кбайт. В составе терминалов используются накопители на магнитных дисках и лентах, графический дисплей, графопостроитель, перфоратор, алфавитно-цифровое печатающее устройство.

Программное обеспечение для ЕС и СМ ЭВМ разработано с применением алгоритмического языка ФОРТРАН, а для персональных ЭВМ — языка БЕЙСИК. Система функционирует с ДОС ЕС, ОС ЕС и ОСРВ.

Адаптируемость ЕСПС-ТАУ обеспечивается: структурой системы с использованием препроцессоров, постпроцессоров, технологических программных модулей и унифицированных информационных связей между ними; возможностью расширения входного языка; использованием базы данных; параметрическим регулированием технологических решений; модульностью программного обеспечения. Адаптация может производиться на уровне пользователя изменением содержания базы данных или на уровне разработчика системы. Так, возможна разработка технологических модулей для формирования новых схем обработки, расчета соответствующих режимов резания и оптимизации технологических решений.

Универсальная система «ТЕХНОЛОГ» для многокоординатной (до пяти координат) фрезерной обработки на ГПМ создана с учетом опыта промышленной эксплуатации систем автоматизированного программирования САП-2, САП-3, САП-4 и САП-5. Предусмотрены различные уровни автоматизации программирования. Система реализована на СМ ЭВМ и персональных ЭВМ. Модульная структура программного обеспечения позволяет использовать его в различной комплектации в зависимости от задач, решаемых в конкретных производственных условиях.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключается прогрессивность получения заготовок на ГПМ методами обработки давлением?
2. Что входит в состав ГПМ обработки давлением?
3. Каковы особенности ГПМ механообработки?

4. Поясните операции, выполняемые на ГПМ механообработки.
5. Для чего используется метод агрегатирования при проектировании ГПМ?
6. Почему к узлам ГПМ предъявляются повышенные требования в отношении точности, жесткости и виброустойчивости?
7. Какие преимущества дает применение на сборке ПР?
8. Чем различается аппаратная и аппаратно-программная реализация алгоритмов управления ГПМ?
9. Как осуществляется обмен информацией с ЭВМ верхнего уровня при работе систем ЧПУ в составе ГПС?
10. Чем объясняется многообразие систем автоматизированного программирования оборудования с ЧПУ?

### 8.1. ТИПЫ АТСС

Материальный поток ГПС включает транспортировку и накопление заготовок, полуфабрикатов, готовых деталей, режущего и вспомогательного инструмента, технологической оснастки. При создании ГПС большое внимание уделяется задачам автоматизации этих трудоемких операций.

Работа автоматизированной транспортной системы, накопление объектов транспортирования и распределение их потоков определяются функциональной направленностью, последовательностью, пространственной организацией и качественными характеристиками конкретного производства. В условиях ГПС необходимы автоматизированные транспортно-складские системы (АТСС) межцехового, внутрицехового и межоперационного уровней.

Характер транспортных связей, обслуживающих горизонтальные, вертикальные и смешанные грузопотоки, оказывает решающее воздействие на совершенствование компоновки оборудования и определяет уровень гибкости производственной системы. Автоматизированные склады и операционные накопители являются буферными накопителями в производственном цикле.

АТСС должна обеспечивать выполнение следующих основных функций: прием, хранение нормативного запаса объектов, их учет и выдачу в производство с целью обеспечения нормального функционирования ГПС; транспортирование объектов к позициям разгрузки, накопителям или складам; транспортирование заготовок к позициям контроля и их возврат после межоперационного контроля для дальнейшей обработки. АТСС обеспечивает также непрерывное получение информации о ходе производства, на основании которой принимаются оперативные решения по управлению всеми производственными процессами.

В состав АТСС входят: транспортные средства, промышленные роботы, склады и стеллажи со штабелерами, накопители, поворотные и подъемные столы, перегружатели, питатели, отсекатели, толкатели, сбрасыватели, транспортно-складская тара, блокировочные устройства, датчики, пульта управления и средства вычислительной техники.

Разработка компоновок АТСС проводится с последовательным уточнением технических требований, транспортных связей и расположения технологического оборудования. Причем в процессе взаимоувязки

расположения технологического оборудования и оборудования АТСС обе компоновочные схемы, как правило, претерпевают значительные изменения. Учитывая многовариантность выбора рационального решения, проектирование АТСС является весьма сложной инженерной задачей. После проектирования должны быть определены рациональная схема грузопотоков, учитывающая возможности сокращения длины и упрощения транспортных связей, рациональное использование площади и объема производственных помещений, рациональная организация техники безопасности труда и пожарной безопасности, а также по возможности должны быть снижены капитальные и эксплуатационные расходы.

Одна из основных трудностей в решении этих задач — невозможность создания единой компоновки ГПС и соответствующей АТСС. Поэтому важно выявить *факторы, влияющие на выбор компоновки*.

Для определения технических условий на проектирование и выбор транспортно-накопительных устройств необходим анализ не только задач перемещения объектов, но и всего производственного процесса как единого целого. Поэтому основными факторами, влияющими на компоновочное решение и технические параметры АТСС, являются: конструктивные и технологические параметры обрабатываемых деталей, программа их выпуска, особенности технологических процессов производства, структура и численность технологического оборудования, расположение рабочих зон и характеристики производственных помещений.

Среди большого числа компоновочных решений можно выделить три основных типа АТСС: линейное двустороннее транспортирование (рис. 8.1, а) объектов между рабочими позициями 1, когда на транспортных отрезках нет разъездов, и работа без столкновений возможна только при наличии одной тележки 4 на каждом из отрезков; одностороннее замкнутое транспортирование (рис. 8.1, б) с разъездами, при котором возможно одновременное перемещение нескольких тележек; транспортирование индивидуальными средствами (рис. 8.1, в), что обеспечивает движение объектов в любой момент времени, в любом месте ГПС.

Относительно малая вместимость транспортных систем первого типа ограничивает возможность их использования обслуживанием незначительного количества рабочих позиций при большом времени обработки на каждой позиции.

Использование нескольких тележек во втором типе транспортных систем обеспечивает их повышенную гибкость и обширную область применения. Наиболее распространены такие системы в пространственно протяженных ГПС с большим числом рабочих позиций и при меньшем по сравнению с первым типом времени обработки на каждой позиции. После каждого этапа транспортирования происходит отделение приспособления-спутника объекта от тележки (при этом число тележек может быть меньше количества спутников в ГПС).

Большая транспортная вместимость систем третьего типа целесообразна при небольшом количестве рабочих позиций и малом времени обработки на каждой позиции.

Для промежуточного хранения объектов в ГПС используют как де-

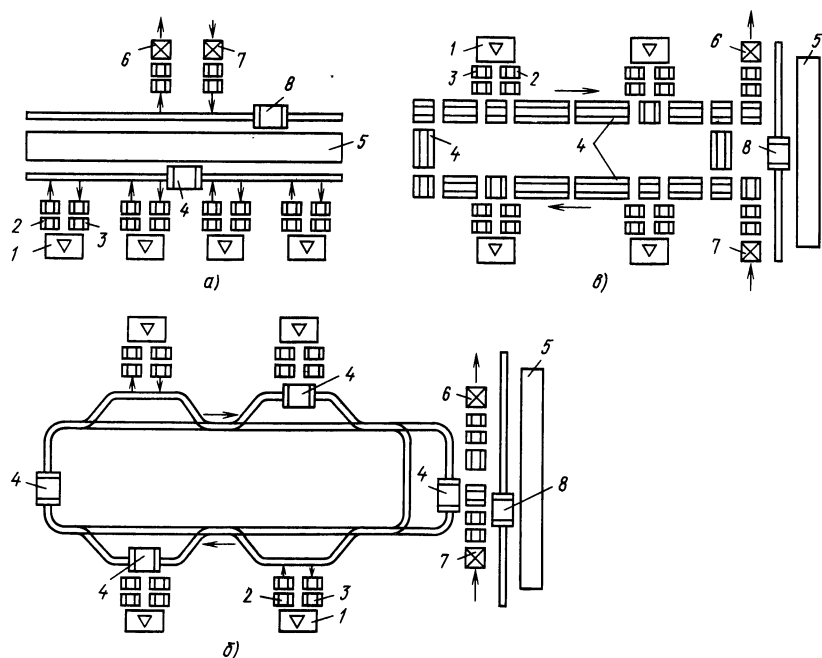


Рис. 8.1. Типы транспортных систем ГПС

централизованные буферные накопители (позиции загрузки 3 и разгрузки 2), так и центральные накопители-склады 5 на общей приемной позиции, обслуживаемые штабелером 8. Во всех трех типах АТСС позиции 6 и 7 являются выходами и входами систем.

Буферные накопители на рабочих позициях служат для компенсации разницы между временем транспортирования и временем обработки деталей, выполняя функции резервных складов между отдельными этапами обработки или после окончания всего цикла обработки, что необходимо для равномерной загрузки технологического оборудования. Дело в том, что при часто изменяющейся номенклатуре обрабатываемых деталей в условиях ГПС практически невозможно обеспечить единое или кратное определенной величине время обработки деталей на разных ГПМ.

Накопление заготовок и полуфабрикатов производится в специальных агрегатах. На ГПС, обрабатывающих сравнительно мелкие заготовки, функции буферных накопителей выполняют *магазинные, штабельные и бункерные устройства* при самотечном, принудительном и комбинированном перемещении заготовок. На ГПС для изготовления более крупных деталей применяют транзитные и складские накопители.

В *транзитных накопителях* для выдачи очередной заготовки необходимо перемещать весь имеющийся запас заготовок. В *накопителях складского типа* при нормальной работе модулей ГПС поток питания

заготовками соответствующего ГПМ идет в обход имеющегося запаса, и накопитель включается в работу лишь при нарушениях в основном потоке заготовок. В качестве накопителей транзитного и складского типов широко используют элеваторные, барабанные, конвейерные, сотовые и другие конструкции.

На рис. 8.2 изображен ГПМ для обработки корпусных деталей с элеваторным накопителем, важным преимуществом которого является малая занимаемая площадь производственного помещения при большой вместимости.

Функциональными элементами автоматизированных складов являются стеллажи, штабелеры, транспортно-складская тара, устройства для перегрузки тары со штабелера на накопитель, напольные накопители, устройства для передачи тары с накопителя на транспортную систему ГПС или в обратном направлении и системы управления.

Автоматизированные склады могут состоять из участков приема и выдачи объектов, участка их укладки в транспортно-складскую тару и зоны хранения. В зависимости от конструктивных особенностей и технической оснащенности склады ГПС различают по типам стеллажей и штабелирующих машин, вместимости, типам и параметрам складской тары, выполняемым производственным функциям, уровню и техническим средствам автоматизации.

Компоновка АТСС с тремя стеллажами сотового (клеточного) типа показана в качестве примера на рис. 8.3. В этой компоновке транспортные связи значительно упрощены за счет расположения стеллажей заготовок, технологической оснастки и готовых деталей в зоне технологического оборудования.

Наибольшее распространение в ГПС получили склады с автоматическими стеллажными кранами-штабелерами, имеющими высокую произ-

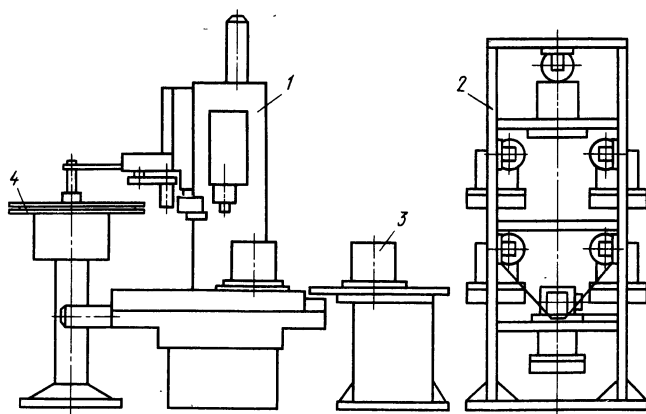


Рис. 8.2. ГПМ с накопителем элеваторного типа:

1 — многоцелевой станок; 2 — накопитель заготовок; 3 — устройство автоматической смены заготовок; 4 — инструментальный магазин



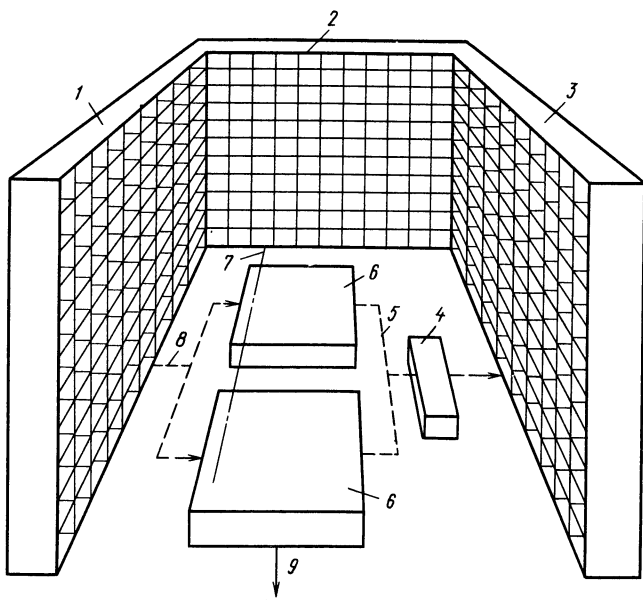


Рис. 8.3. Компоновка АТСС с тремя стеллажами:

1 — склад заготовок; 2 — склад режущего инструмента и оснастки; 3 — склад готовых деталей; 4 — зона контроля деталей; 5 — поток готовых деталей; 6 — зоны расположения технологического оборудования; 7 — поток инструмента и оснастки; 8 — поток заготовок; 9 — зона удаления отходов производства

водительность и компактность конструкции. При большой вместимости складов в условиях мелкосерийного производства используют автоматические мостовые краны-штабелеры.

На складах ГПС применяют плоские, ящичные и стоечные поддоны из различных материалов. Для приема грузов с внутризаводского транспорта и выдачи груженых поддонов к ГПМ, а также для выполнения перегрузочных операций в обратном направлении используются роликовые и цепные конвейеры, тележки, поворотные столы и роботы. Перегрузочные устройства складов можно оснащать аппаратурой для автоматического контроля массы и размеров объектов, подсчета их количества и ориентирования. В гравитационных стеллажах выполняется загрузка объектов с одной стороны, а выгрузка — под действием собственной массы по наклонным лоткам с противоположной.

В составе отечественных ГПС широко используют серийно выпускаемые автоматизированные склады типов ОРГ, СТАС, РСК и др. К их особенностям следует отнести высокий уровень автоматизации, высокую производительность (цикл выдачи объектов не превышает 2 мин) и компактность. Во всех складах автоматизированы загрузка и выдача тары в ячейку и адресование крана-штабелера.

Например, склад мод. РСК-50 имеет 930 ячеек, длину 17 м, ширину 1,7 м, высоту 5,8 м, наибольшую грузоподъемность штабелера 50 кг

со скоростями горизонтального перемещения 45 м/мин и вертикального перемещения 9,8 м/мин. Система управления выполнена на базе микро-ЭВМ «Электроника-60», возможен автоматический и наладочный режимы работы. Управление складом от ЭВМ дает возможность осуществить оперативное диспетчирование ходом складирования и вести учет перемещений всех объектов.

Следует отметить, что автоматизированные склады являются не только местом хранения объектов производства и технологической оснастки, но и организационной основой производства, обеспечивающей возможность планирования производственного цикла и его корректировки в зависимости от производственных ситуаций. Недооценка роли складов может в значительной степени повлиять на работоспособность ГПС. Такие показатели, как вместимость склада, его местоположение, уровень автоматизации, во многом определяют организацию грузопотоков, необходимый набор средств АТСС и ее технико-экономические параметры.

## 8.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ГРУЗОПОТОКОВ

Автоматизированные транспортно-складские системы, обслуживающие ГПС, организуют межцеховые, межучастковые, межоперационные грузопотоки и все перемещения, связанные с ориентацией, установкой и съемом объектов транспортирования на основном и вспомогательном оборудовании. Грузопотоки машиностроительного предприятия содержат десятки и даже сотни взаимно пересекающихся и разветвленных связей. Транспортно-технологические характеристики объектов зависят от их массы, размеров, формы, вида и свойств материала, способа загрузки (в таре, без тары, на спутниках, в кассетах, ориентированные, неориентированные и т. д.).

Транспортные потоки могут быть непрерывными и периодическими. Возможно комбинированное использование непрерывного и периодического перемещений при условии развязки транспортных средств буферными накопителями. В частности, функции накопителей могут выполнять собственно транспортные средства и тара.

В ГПС осуществляют два вида связей между ГПМ: прямую и косвенную. Прямая связь (см. рис. 6.7) характеризуется передачей объектов транспортирования непосредственно со склада к оборудованию. После обработки на одном ГПМ заготовка передается к очередному ГПМ, минуя склад. Такая связь используется преимущественно при транспортировании деталей большой массы и сравнительно большом времени механообработки на каждом ГПМ. Ответвления транспортной системы служат промежуточными накопителями.

При косвенной связи транспортирование деталей осуществляется только через склад (рис. 8.4). После обработки на одном ГПМ деталь передается на склад, а затем со склада поступает на очередной ГПМ после его высвобождения. Этот вид связи имеет следующие достоинства: новая партия обычно небольших деталей направляется к ГПМ только после окончания обработки предыдущей партии, что

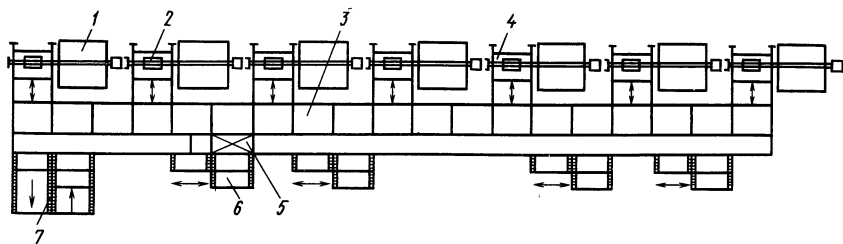


Рис. 8.4. Компоновка ГПС для обработки деталей типа тел вращения при организации грузопотоков через склад:

1 — токарные ГПМ; 2 — промышленные роботы; 3 — автоматизированный склад; 4 — столы для кассет с заготовками; 5 — кран-штабелер; 6 — станции обслуживания, 7 — входная и выходная позиции склада

снижает требования к вместимости накопителей и способствует централизации контроля и управления.

Форма и размеры обрабатываемых поверхностей, число установок, необходимых для полной обработки заготовки, режимы и время обработки, необходимая оснастка и технологические возможности оборудования ГПС оказывают решающее влияние на выбор маршрутной технологии. Технологические возможности ГПМ могут находиться в различных соотношениях. Наиболее распространены четыре варианта этих соотношений.

**Первый вариант.** Каждая заготовка в составе партии заготовок может быть полностью обработана на одном станке за одну установку. При этом возможно: 1) в ГПС существует лишь единственный станок, технологические возможности которого соответствуют технологическим потребностям данной заготовки; 2) каждая заготовка может быть обработана на любом станке, т. е. все станки ГПС по отношению к партии заготовок функционально эквивалентны. Во втором случае организация материального потока заготовок и алгоритмы управления загрузкой станков становятся наиболее простыми: любая заготовка из партии может поступать на любой высвободившийся станок.

**Второй вариант.** Каждая заготовка из партии полностью обрабатывается на одном станке за несколько установок. При этом возможно: 1) заготовка обрабатывается лишь на одном станке; 2) каждая заготовка может быть обработана на любом станке ГПС.

При организации технологических маршрутов в первом и во втором вариантах отпадает необходимость в межстаночных связях. Выход из строя какого-либо станка не влияет на работу других станков, так как технологическая система продолжает функционировать с частичной потерей производительности. Если технологические возможности всех станков ГПС одинаковы, то заготовки, закрепленные за отказавшим станком, можно обработать на исправных станках.

**Третий вариант.** Заготовка полностью обрабатывается на двух и более станках при одной технологической базе. После обработки на первом станке заготовка транспортируется на последующие в соответствии с планируемым маршрутом обработки, что возможно, когда технологи-

ческие возможности одного станка не могут удовлетворить технологические потребности каждой заготовки, и транспортирование ее от станка к станку продолжается до полной обработки.

**Четвертый вариант.** Заготовка полностью обрабатывается на двух и более станках со сменой технологических баз. Перебазирование заготовок осуществляется либо автоматически с помощью кантователей и промышленных роботов, либо вручную.

Для третьего и четвертого вариантов характерна работа станков ГПС в режиме взаимодополнения. На рис. 8.5 показан пример организации потока деталей в этом режиме при связи ГПМ через центральный склад и при совместном хранении заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей на складе.

Если на рабочих позициях организованы буферные накопители, то структура потока деталей ГПС имеет два иерархических уровня (рис. 8.6): центральный склад — буферные накопители (БН) и накопители — ГПМ. Станочные модули функционируют автономно до тех пор, пока не будут обработаны все заготовки из накопителей. При этом возможны параллельная и последовательная структуры.

Взаимное расположение центрального склада, станочных модулей и буферных накопителей может быть различным. На организацию структуры потока деталей влияет также форма склада. ГПМ относительно склада призматической формы располагают с одной или двух сторон либо параллельно по отношению к грузонесущим поверхностям, либо перпендикулярно к ним. При цилиндрической форме склада удобна лучеобразная структура потока деталей (рис. 8.7).

Чем большее число транспортных связей имеет ГПМ, тем более гибкой становится АТСС в целом. Автоматическое перемещение объектов с разветвлением трассы целесообразно при многоярядном расположении технологического оборудования и выполнении одним транспортным средством нескольких функций (рис. 8.8). С центрального склада заготовки в таре подаются штабелером на позицию перегрузки. Самоходная тележка, снабженная роботом, передает заготовки к буферным на-

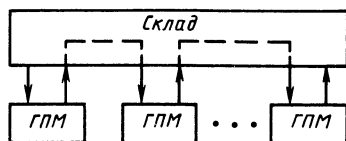


Рис. 8.5. Структура потока деталей ГПС при работе станочных модулей в режиме взаимодополнения

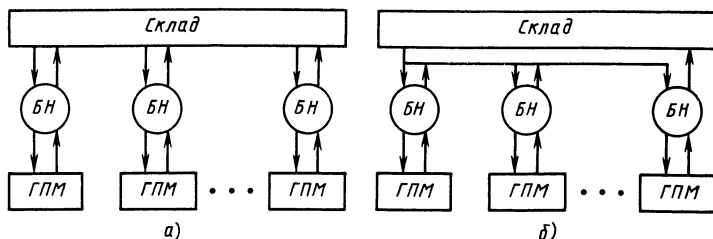


Рис. 8.6. Параллельная (а) и последовательная (б) двухуровневая структура потоков деталей в ГПС

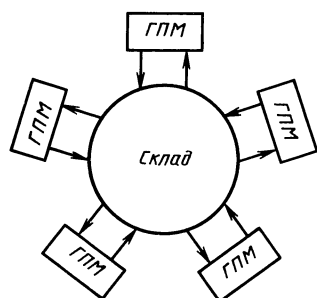


Рис. 8.7. Лучеобразная структура потока деталей ГПС

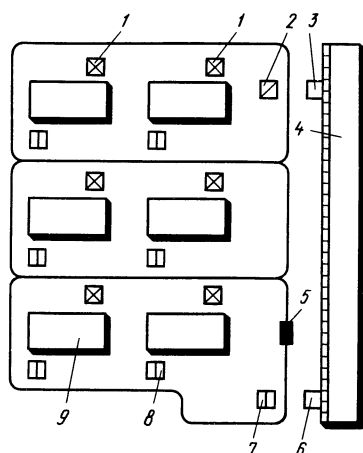


Рис. 8.8. АТСС с разветвленной трассой:

1 — буферные накопители; 2 — позиция контроля размеров заготовок; 3 и 6 — позиции перегрузки заготовок; 4 — центральный автоматизированный склад, 5 — самоходная тележка; 7 — зона сбора стружки, 8 — контейнеры для стружки, 9 — технологическое оборудование

копителям и забирает готовые детали в любой последовательности по мере необходимости и приоритета обслуживания. Несколько раз в смену эта тележка развозит пустые контейнеры для стружки и собирает наполненные стружкой контейнеры. Такая разветвленная компоновка АТСС обеспечивает высокую гибкость реализуемых технологических процессов.

АТСС на рис. 8.9 с односторонним перемещением грузов по разветвленной замкнутой трассе функционирует без центрального склада. При такой компоновке роликовые конвейеры с поворотными столами

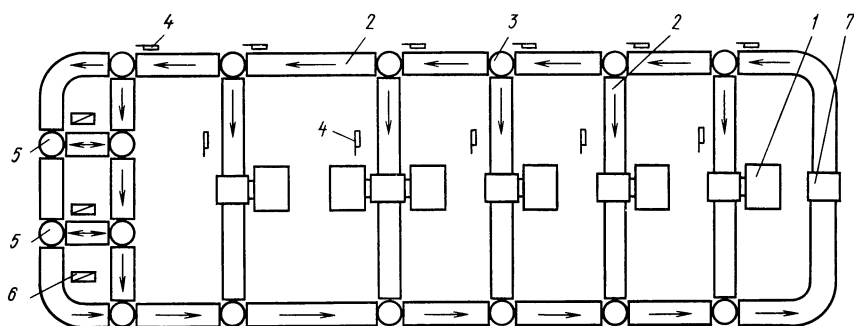


Рис. 8.9. АТСС с односторонним перемещением объектов по разветвленной замкнутой трассе:

1 — ГПМ, 2 — роликовые конвейеры; 3 — поворотные столы, 4 — датчики считывания адресов; 5 — входные и выходные позиции, 6 — устройства адресования грузов; 7 — моечная машина

одновременно являются и транспортными средствами, и накопителями объектов транспортирования. При обработке корпусных деталей, которая обычно занимает много машинного времени, требуется относительно небольшое число позиций конвейера-накопителя для обеспечения станочных модулей деталями в течение рабочей смены. В конце второй смены конвейер полностью загружается заготовками, что обеспечивает автоматический режим работы ГПС в ночную смену, когда из обслуживающего персонала остается только дежурный наладчик.

ГПС для обработки деталей типа тел вращения модели АСВ (см. рис. 6.6) также имеет разветвленную транспортную систему без центрального склада. Однако другой вид обрабатываемых деталей и малое машинное время их обработки определяют иную организацию грузопотоков. Замкнутый конвейер-накопитель со свободным ритмом работы служит для межоперационного накопления, транспортирования между секциями ГПС и оперативной доставки на рабочие места тары с заготовками, готовыми деталями, режущим инструментом и оснасткой, а также отвода от станков тары со стружкой.

Конвейер состоит из приводной, натяжной и промежуточных унифицированных секций и представляет собой тележечно-цепной конвейер с одинаковыми (независимо от функционального назначения) тележками, имеющими плоские платформы. Конструкция конвейера позволяет одновременно применять тару различных размеров в зависимости от размеров обрабатываемых деталей и величины их партии. Тележки конвейера расположены по всей его длине равномерно попарно для двухстаночного обслуживания. Связь конвейера с ГПМ осуществляется с помощью отдельных самоходных тележек, доставляющих тару с деталями, инструментом и оснасткой от конвейера к приемным столам ГПМ и обратно.

Самоходные тележки выполнены в виде трансманипуляторов с ЧПУ, способных по программе перегружать находящуюся на конвейере или на приемных столах тару. Трансманипуляторы перемещаются по опорным металлоконструкциям в направлении, перпендикулярном к конвейеру. Каждый трансманипулятор оснащен поворотной платформой и выдвижными каретками для установки груза.

Удаление стружки выполняется с помощью пристаночных стружечных емкостей, периодически перемещаемых от станка к конвейеру и обратно специальными гидроприводами по расположенным в фундаменте рельсам. Контейнеры в зоне централизованного сбора и сортировки стружки по виду металла после их заполнения убирают с участка автопогрузчиком или цеховым краном.

ГПС для серийного производства (рис. 8.10) обслуживается тремя параллельными конвейерами 6, 7 и 8, размещенными вдоль девяти станочных модулей 1...5. Кроме того, имеются семь подвесных транспортно-загрузочных устройств 12, установленных перпендикулярно к конвейерам.

Для этого над конвейерами и станочными модулями смонтированы рельсовые пути, по которым перемещаются тележки с обрабатываемыми корпусными деталями. Крепление заготовок на спутники и съем

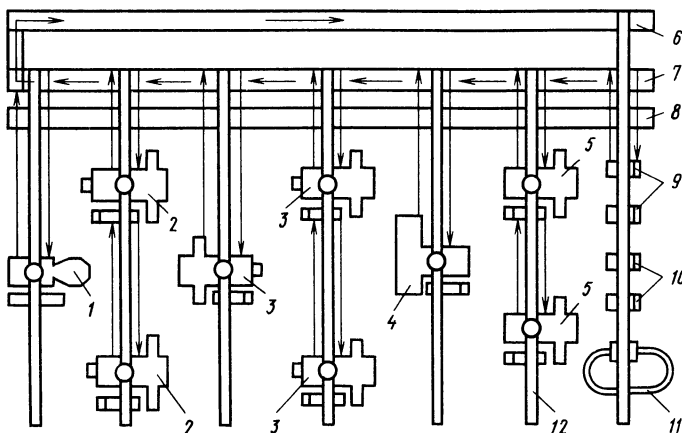


Рис. 8.10. АТСС с подвесными транспортно-загрузочными тележками для серийного производства:

1 — ГПМ для нарезания резьб, 2 — ГПМ для расточных операций, 3 — ГПМ для сверлильных операций, 4 — ГПМ с многошпиндельными сменными головками, 5 — ГПМ для фрезерных операций; 6 — конвейер возврата обработанных деталей, 7 — конвейер заготовок, 8 — дополнительный конвейер-накопитель заготовок, 9 и 10 — разгрузочные и загрузочные позиции, 11 — накопитель спутников, 12 — подвесные транспортно-загрузочные устройства

готовых деталей осуществляются двумя операторами на загрузочных 10 и разгрузочных 9 станциях накопителей. После установки очередной заготовки на спутнике он переносится подвесной тележкой на конвейер 7, а на освободившееся место подается следующий свободный спутник из накопителя 11, в котором одновременно могут находиться до двадцати спутников. Аналогично осуществляется разгрузка спутников.

Заготовки со спутниками транспортируются к станкам конвейером 7. Для возврата обработанных деталей на позицию разгрузки 9 предназначен конвейер 6, а конвейер 8 является дополнительным накопителем заготовок.

Многошпиндельный вертикально-сверлильный модуль 4 снабжен индивидуальным магазином на 32 многошпиндельные сменные головки, которые вводятся в работу по программе с помощью автоматического устройства смены головок.

Пример организации транспортной системы ГПМ с индивидуальным конвейером-накопителем (магазином) спутников показан на рис. 8.11. Конвейер цепной конструкции получает одностороннее периодическое перемещение от привода. Устройство автоматической смены спутников, имеющее трехпозиционный челночный механизм, обеспечивает передачу очередного спутника из магазина на позиции А и Б станка. После обработки детали она переводится в позицию В, откуда она может быть возвращена на позицию А и далее в магазин при условии, что стол находится в зоне резания Г станка.

На рис. 8.12 показан пример организации грузопотоков в гибком автоматизированном цехе, предназначенном для механической обработки

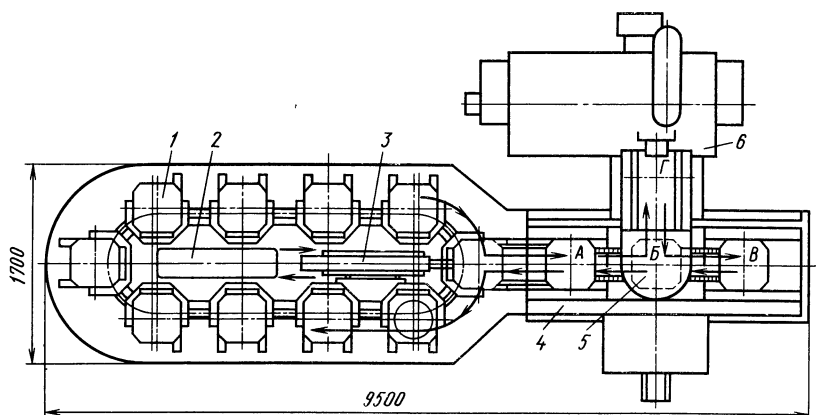


Рис. 8.11. Транспортная система с индивидуальным конвейером-накопителем: А, Б, В, Г — позиции спутников на станке, 1 — приспособления-спутники с корпусными деталями и режущим инструментом; 2 — привод, 3, 4 — челночное устройство; 5 — стол станка; 6 — многоцелевой станок

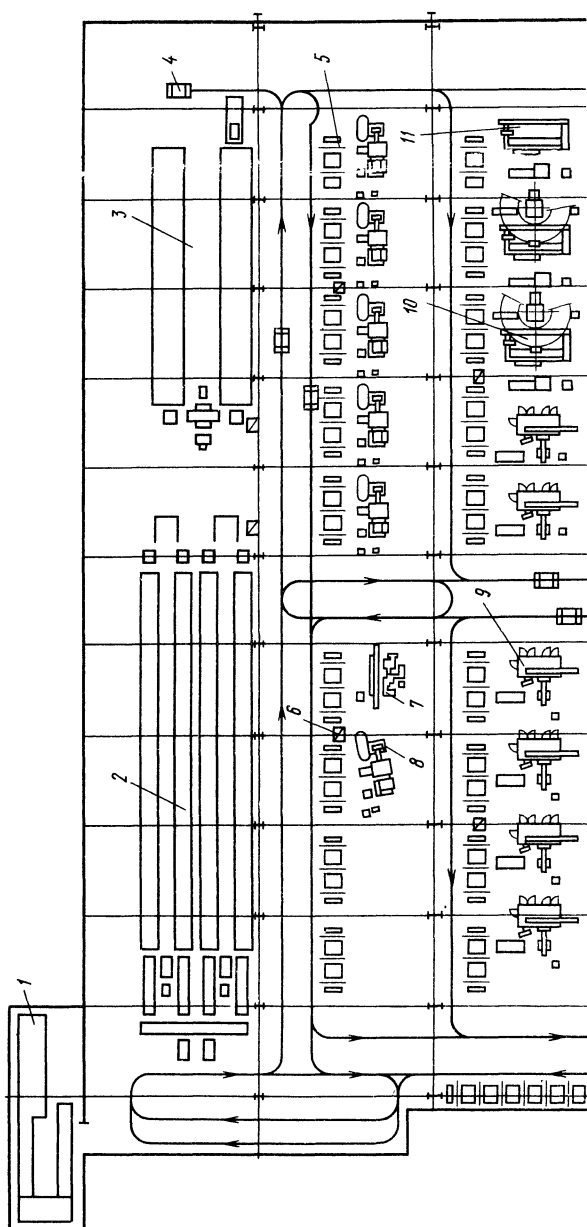
деталей типа тел вращения, корпусных деталей и плит промышленных роботов. АТСС цеха содержит склад мелких и средних заготовок вместимостью 420 ячеек, склад крупных заготовок вместимостью 100 ячеек, пять робокаров грузоподъемностью 1000 кг, приемные станции и промышленные роботы в составе ГПМ.

Применение напольных самоходных тележек (робокаров, трансманипуляторов), оснащенных механизмами перегрузки объектов транспортирования и взаимодействующих с автоматизированными складами и буферными накопителями, становится перспективным направлением развития транспортного оборудования ГПС. Функции механизмов перегрузки объектов могут выполнять установленные на тележках роботы. Такие робокары оснащают бортовыми микроЭВМ, позволяющими задавать циклы и сотни адресов автоматического обслуживания во время одного сеанса программирования с диспетчерского пульта. Трасса перемещения робокаров остается свободной для движения других транспортных средств.

### 8.3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ В АТСС

Промышленные роботы даже с очень широкими техническими возможностями нельзя рассматривать оторванно от конкретных производственных условий. Комплексный подход применительно к робототехнике в ГПС основан на использовании: исполнительных роботов, осуществляющих основные технологические процессы (сборку, сварку, нанесение защитных покрытий); обслуживающих роботов, предназначенных для автоматизации вспомогательных операций по обслуживанию станков, кузнечно-прессовых машин, литейного, термического, гальванического и другого основного технологического оборудования;





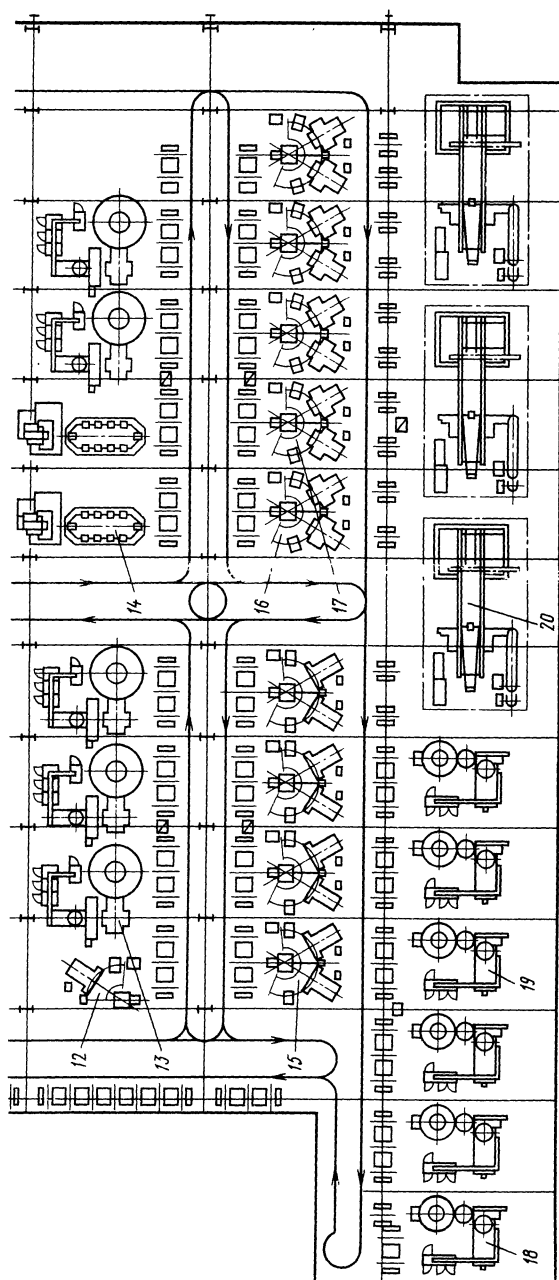


Рис. 8.12. Организация грузопотоков в гибком автоматизированном цехе:

1 — управляюще-вычислительный комплекс; 2, 3 — автоматизированные склады с роботами-штабелерами; 4 — робокраны (5 шт.); 5 — приемные станции (155 шт.); 6 — терминалы (12 шт.); 7 — круглошлифовальный ГПМ; 8...11 — роботизированные технологические комплексы (15 шт.) для различных токарных операций; 12 — роботизированный технологический комплекс с вертикальным многоцелевым станком; 13 — многоцелевые горизонтальные ГПМ (5 шт.) со сменными многошлифовальными координатами; 14 — многоцелевые вертикальные ГПМ (2 шт.); 15...17 — роботизированные технологические комплексы с многоцельными горизонтальными (9 шт) и вертикальными (9 шт) станками, обслуживаемыми 9 роботами; 18 и 19 — многоцелевые ГПМ (6 шт.) с различными технологическими возможностями; 20 — многоцелевые пятикоординатные ГПМ (3 шт.)

Можно выделить три основные схемы взаимодействия промышленных роботов с основным технологическим оборудованием (рис. 8.13): обслуживание стационарным роботом единицы оборудования или группы расположенного вокруг него оборудования, обслуживание подвижным роботом расставленного вдоль трассы его перемещения оборудования. Во всех этих схемах создается роботизированный технологический комплекс, в котором ПР выполняет загрузку и разгрузку оборудования, используя конвейеры, накопители и ориентирующие устройства. РТК могут функционировать автономно или в составе ГПС. Возможна непосредственная связь между РТК без дополнительных транспортных средств. При эстафетной передаче захватное устройство одного робота зажимает, а другого робота одновременно отпускает деталь. При наличии между РТК позиции промежуточного хранения один робот помещает деталь на эту позицию (стол, кассета, призма, поддон, специальное приспособление), а в дальнейшем другой робот забирает ее.

*a* — обслуживание стационарным роботом единицы оборудования; *b* — обслуживание стационарным роботом группы оборудования; *в* — обслуживание подвижным роботом группы оборудования; *г* — взаимодействие двух РТК с позицией промежуточного хранения изделий; *С* — станки; *Н* — накопители; *ПК* — подводящий конвейер; *ОК* — отводящий конвейер; *ПХ* — позиция промежуточного хранения деталей

технологического оборудования. Они выполняют операции приема объектов из накопительно-ориентирующих устройств, их транспортировку и установку в зону обработки. При сборке они выполняют комплектацию собираемых изделий деталями и фиксацию соединений.

После выполнения основных технологических операций ПР осуществляют снятие изделий со станков, их транспортировку и укладку в тару или на позицию промежуточного хранения для продолжения технологического маршрута. Последующими операциями, в частности, могут быть дальнейшая механообработка, термохимическая обработка, промежуточный и выходной контроль.

Все контрольные операции также могут выполнять ПР, в том числе и контроль за правильностью установки заготовок в зажимные приспособления ГПМ или на позиции сборки. В этих случаях ПР оснащают измерительными средствами. Контрольные операции по времени могут совмещаться с транспортными и ориентирующими операциями. При закреплении заготовок в приспособлениях и при сборке сопрягаемых деталей легко обеспечивается контроль силовых характеристик с помощью силомоментных (динамометрических) головок ПР.

Замена инструментальных блоков и отдельных инструментов по мере их износа или при переходе к обработке новых заготовок на ГПМ производится в автоматическом режиме. В токарных ГПМ режущий инструмент устанавливается в револьверных головках с вертикальной или горизонтальной осью вращения. Поштучная замена инструмента в гнездах револьверных головок с помощью ПР затруднена, поэтому обычно работы по мере необходимости меняют не отдельные инструменты, а револьверные головки с нужным набором инструмента.

В ГПМ для обработки корпусных деталей может быть обеспечена с помощью ПР как индивидуальная замена режущего инструмента в гнездах магазинов, так и замена инструментальных блоков и целых инструментальных магазинов.

Если ГПС снабжена робокарами или подвесными транспортными роботами, то они могут осуществить и доставку к ГПМ сменных инструментальных блоков (кассет), и их замену.

На рис. 8.14 показана схема взаимодействия ПР с другими транспортными средствами на примере ГПС для обработки деталей типа тел вращения. В транспортной системе использованы: стационарные и подвижные роботы; трансманипулятор; стеллажи и приемно-передающие роликовые конвейеры.

Транспортные ПР успешно заменяют кран-балки, консольные и мостовые манипуляторы, тельферы самых различных видов, тележки, электрокары и другие транспортные средства, требующие высоких затрат обслуживающего персонала на погрузочно-разгрузочных операциях, а также сопровождения грузов при транспортировании. Эти роботы используются в напольном и подвесном варианте.

Напольные транспортные роботы выпускают как рельсовыми, так и безрельсовыми. Подвесные транспортные роботы могут быть консольно-крановыми, монорельсовыми и порталными.

При организации АТСС наибольшее распространение нашли наполь-

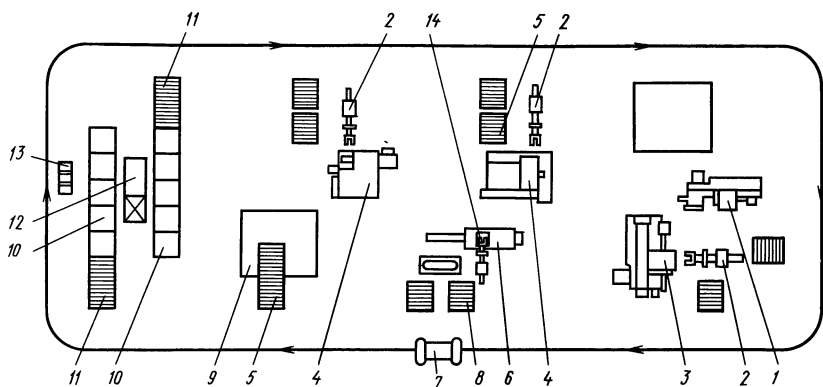


Рис. 8.14. Схема взаимодействия ПР с другими транспортными средствами:

1, 6 — патронно-центровые токарные станки с ЧПУ; 2, 14 — стационарные ПР; 3, 4 — многоцелевые токарные станки с ЧПУ; 5, 8, 11 — конвейеры; 7 — робокар; 9 — секция подготовки производства; 10 — стеллажный модуль; 12 — трансманипулятор; 13 — входная позиция

ные безрельсовые роботы-тележки (робокары), имеющие два исполнения. *Грузонесущие робокары* (рис. 8.15) выполняют в ГПС любые операции по транспортированию и манипулированию объектами производства и оснасткой. *Тянущие* (буксирные) автоматические тележки используют при обслуживании закольцованных грузопотоков, где не требуется высокой точности позиционирования грузов, при межцеховом транспортировании грузов и обслуживании грузопотоков между складами.

Особо следует отметить возможность использования робокаров в технологических процессах сборки, когда собираемые изделия оснащаются по ходу движения (с управляемой трассой) всеми необходимыми деталями и узлами.

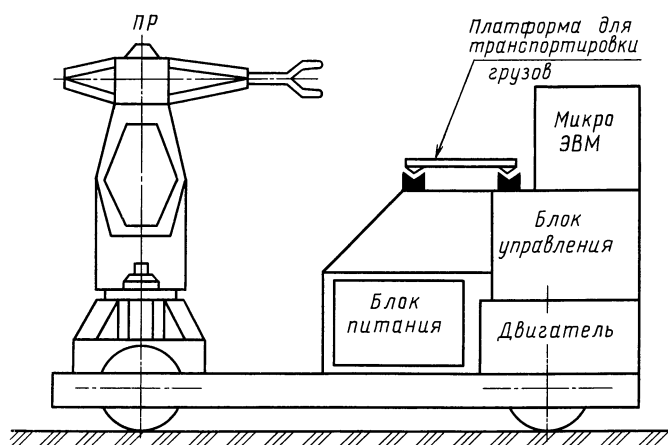


Рис. 8.15. Грузонесущий робот-тележка (робокар)

Трассу следования робокаров выбирают в соответствии с технологическими маршрутами. Одни робокары могут обслуживать оборудование только в пределах заранее проложенной трассы, а другие могут съезжать с трассы, чтобы осуществить стыковку с погрузочно-разгрузочной станцией, выполнить команду оператора или объехать препятствие.

Одна из важнейших задач при создании автоматических транспортных систем на базе робокаров — разработка системы слежения, обеспечивающей движение по заданной трассе.

Наиболее простой системой слежения за направлением движения является *электромеханическая*, в котором используется направляющая шина или паз в дорожном покрытии. Направляющий ролик, закрепленный на датчике-кронштейне тележки, перемещается по шине или пазу. При отклонении тележки от трассы движения датчик через механические передачи воздействует либо непосредственно на управляемые колеса, либо через сервопривод.

Широко распространенные *индуктивные* системы слежения выполняют с движением по пассивной и активной трассе. В первом варианте тележка перемещается вдоль полосы, проложенной по трассе на поверхности дорожного покрытия. При симметричном расположении относительно полосы тележки и датчиков, установленных под передней частью тележки, индуктивность катушек одинакова и сигнал рассогласования отсутствует. При отклонении положения тележки относительно трассы датчики выдают сигнал рассогласования, который через следящий привод управляет колесами. Датчики слежения получают питание от высокочастотного генератора, установленного на тележке.

Во втором варианте индуктивная система отслеживает переменное магнитное поле направляющего проводника электрического тока. Этот проводник (кабель) проложен ниже уровня дорожного покрытия. В программировании используют как позиционные, так и счетно-импульсные методы. Разработаны системы, в которых информация о направлении движения, поворотах и остановках передается от системы управления по кабелю, вдоль которого движется тележка.

*Оптоэлектронные* (оптические) системы отслеживают нанесенную на дорожное покрытие светоотражающую полосу, которая контрастно выделяется на фоне основного покрытия. В качестве осветительного устройства для слежения за полосой применяют стробоскоп, расположенный в нижней части тележки, что позволяет с помощью телевизионной камеры получить стабильное изображение полосы при движении. На робокаре расположен также гироскопический компас для регистрации направления движения, когда тележка временно сходит с заданной трассы. Например, если два робокара встречаются на одной трассе, то один должен сойти с нее и пропустить второй, а затем снова вернуться на заданную траекторию движения.

Блок управления робокара определяет его положение по изображению полосы и кодовым меткам различных типов, расположенным вдоль трассы движения. В тех зонах, где нет полосы, этот блок обрабатывает информацию о направлении движения от гироскопа. Вспышки стробоскопа синхронизированы с циклом управления микроЭВМ.

В более простых конструкциях вместо телевизионной камеры устанавливают матрицу из 16 фототранзисторов, разность выходных сигналов которых при отражении света от полосы и пола преобразуется блоком управления в двоичные коды. Алгоритм обработки кодов позволяет при движении робокара отслеживать светоотражающую полосу.

На боковых сторонах робокара расположены устройства связи, предназначенные для передачи и приема информации с помощью инфракрасных лазерных сигналов. Аналогичные устройства установлены на рабочих позициях оборудования ГПС, что обеспечивает бесконтактную передачу отдельных управляющих команд и рабочих инструкций во время остановки робокара на этих позициях.

Используют также системы слежения, состоящие из комплекса световых маяков, которые расположены в определенной последовательности на потолке производственного помещения, и оптических датчиков на приборах с зарядовой связью, установленных на робокарах. При движении робокары ориентируются на световые маяки, а при точном позиционировании на рабочих местах с помощью специальных (штриховых, магнитных и др.) меток.

Задания-программы на маршрут следования и адреса назначения объектов транспортирования вводятся в память бортовой микроЭВМ с пульта, расположенного на робокаре, или по каналам связи на станциях останова. В случае использования радиосвязи задания-программы можно передавать при любом месте нахождения робокара на трассе. Возможности безрельсовых грузонесущих робокаров чрезвычайно широки прежде всего за счет простоты реализации любых необходимых маршрутов обслуживания оборудования ГПС и широких функциональных возможностей роботов.

Выполнив заданные транспортные операции, робокар автоматически следует на станцию подзаряда аккумуляторов. Для экономии электроэнергии применяется рекуперативное торможение, что позволяет увеличить время автономной работы робокаров. Конструкция шасси позволяет им перемещаться не только вперед и назад по трассе, но и разворачиваться на месте, двигаться под любым углом к своей оси. Высокоманевренными делает робокары ромбовидное размещение колес шасси. Всегда робокары оборудованы устройствами безопасности: круговой проблесковой сигнализацией, мигающими световыми сигналами, боковыми контактными щупами, бамперами, отключающими привод колес при наезде на препятствия.

Для межоперационного транспортирования изделий применяют монорельсовые транспортные роботы, состоящие из электротележки, перемещающейся по монорельсу, и установленного на ней ПР. Такие транспортные роботы отличаются от монорельсовых подвесных дорог с тележками автоматического адресования тем, что имеют возможность манипулировать заготовками, полуфабрикатами и готовыми изделиями (выполнять ориентацию, укладку, перенос по программируемой траектории, загрузку и разгрузку подвесок грузонесущих конвейеров, загрузку технологического оборудования). Монорельсовые транспортные роботы хорошо вписываются в производственные планировки, транспор-

тируют груз над проходами, проездами и оборудованием ГПС, что исключает помехи в работе напольного транспорта.

Обширная область использования и типаж ПР в АТСС рассмотренными примерами не ограничиваются. При создании автоматизированных производств «квалификация» роботов непрерывно возрастает.

#### 8.4. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АТСС

Системы управления АТСС обеспечивают выполнение следующих типовых функций: прием запросов на обслуживание; прием различной информации от оператора и оборудования; выполнение алгоритмов информационной модели; формирование и передача информации оператору; учет выполнения заданий; выполнение процедур обмена информацией с ЭВМ верхнего уровня; определение рациональной последовательности перемещения грузов, подготовка и выдача соответствующих команд и адресов на исполнительные механизмы транспортных средств; редактирование информационных массивов; диагностирование состояния оборудования и системы управления; контроль и регистрация срабатывания блокирующей, защитной и сигнальной аппаратуры; анализ срабатывания блокировок и защит. Эти системы обычно имеют иерархическую структуру уровней обработки информационных потоков.

На первом уровне находятся локальные устройства управления транспортным и складским оборудованием. В их состав входят: программируемые контроллеры, датчики положения транспортного оборудования, датчики заполнения накопителей, датчики для определения наличия или отсутствия груза, датчики сил, измерительные приборы, пульта управления, устройства силовой электроавтоматики, системы блокировки и сигнализации, индукционные, емкостные, фотоэлектрические, тензометрические, датчики безопасности и другие элементы автоматики.

С помощью управляющих ЭВМ второго уровня осуществляется управление грузопотоками, учет перемещения грузов, контроль за работой оборудования АТСС и его диагностирование. Этот уровень непосредственно реализует система управления ГПС.

Все оборудование АТСС может функционировать в автоматическом, полуавтоматическом дистанционном и наладочном режимах. В автоматическом режиме АТСС работает без участия человека. В полуавтоматическом дистанционном режиме работа оборудования осуществляется автоматически, а задание программ производится оператором с центрального диспетчерского пульта. Наладочный режим осуществляется со специальных наладочных пультов оборудования АТСС и предназначен для проведения пусконаладочных и ремонтных работ, а также вывода транспортных машин в исходное положение и управления вручную оборудованием в аварийных случаях.

Текст задания на обслуживание технологического оборудования ГПС содержит обслуживаемый адрес и характеристики грузов. Задание может сопровождать дополнительная информация, регламентирую-



щая последовательность перемещения грузов. Состояние загрузки буферных накопителей и рабочих мест определяется либо с помощью датчиков, либо по алгоритмам, учитывающим сигналы окончания обработки очередных заготовок на станках и положения механизмов загрузки-выгрузки.

Наличие *информационной модели* предполагает хранение в энергозащищенной памяти ЭВМ данных о грузах, находящихся на всех стадиях перемещения и хранения в АТСС. Например, возможен такой набор данных: стадия обработки, код детали, количество деталей в транспортной партии, номер партии, местонахождение груза. Информационная модель позволяет упорядочить информацию учетного характера как о выполненной, так и о невыполненной частях заданий на обслуживание.

Изменения в производственном процессе, связанные с выполнением срочных внеочередных заказов, обслуживанием и ремонтом оборудования, требуют изменения заданий и информационных массивов. Для этого системы управления должны обеспечивать возможность выполнения редактирующих функций: последовательного просмотра, вставки, удаления и замены записей в памяти ЭВМ.

Наиболее распространенным способом *адресования грузов* стало кодирование собственно объектов транспортирования (штучных грузов или тары), а также распознавание объектов. В качестве примера рассмотрим систему автоматического адресования с распознавателем, который определяет типоразмер детали путем дешифрации сигналов от фотоэлементов и преобразования этих сигналов в адресный код.

Система имеет матрицы из фотоэлементов и осветителей, расположенных с разных сторон конвейера, формирователь кодов деталей, дешифратор и усилители. При прохождении детали ее контур перекрывает определенное сочетание фотоэлементов. Неосвещенному фотоэлементу соответствует выходное напряжение 0,4 В, освещенному — напряжение 5 В. Комбинация выходных напряжений содержит в себе информацию о типе распознаваемой детали. Идентификация детали системой адресования происходит при строго фиксированном относительном положении матриц и детали. Это положение задается датчиком, вырабатывающим сигнал на считывание кода детали, после чего устройство возвращается в исходное состояние.

Фотоэлементы (фоторезисторы) и осветители закреплены на горизонтальных направляющих, которые могут устанавливаться в нужном положении на вертикальных стойках. В результате можно разместить их в любом положении в плоскости матрицы. Для защиты от посторонних источников света матрица фотоэлементов снабжена экраном.

Используют также распознаватель с телевизионной камерой. При перемещении груза объектив камеры передает изображение на фото-матрицу. С помощью схем развертки по горизонтали и вертикали усиленные сигналы поступают на устройство сравнения. Одновременно из памяти ЭВМ в это же устройство поступают закодированные изображения всех объектов, которые могут проходить по конвейеру. В ходе поочередного сравнения закодированных изображений с комбинацией

сигналов от фотоматрицы фиксируется их совпадение, после чего система управления получает код поступившего груза.

В управлении робокарами участвуют стационарная ЭВМ, бортовые микропроцессорные устройства и средства путевой автоматики (датчики положения). Программирование обеспечивает изменение направления движения робокаров, прохождение разветвлений трассы, выполнение в соответствии с технологическим процессом остановок. Датчики положения размещены и на робокарах, и в дорожном покрытии вдоль трассы движения.

Счетно-импульсный метод программирования траектории перемещения объектов транспортирования предусматривает присвоение остановкам и ответвлениям порядковых номеров в зависимости от порядка их прохождения по трассе. Бортовое устройство управления получает импульс от датчиков положения при прохождении остановки или ответвления и сравнивает содержимое счетчика с заданной программой. В зависимости от результата сравнения выполняется заданная операция. Такая система программирования проста по исполнению, но при возникновении хотя бы одной ошибки при движении по трассе дальнейшая ее работа невозможна. Кроме того, необходимо каждый раз при изменении порядка движения или производственного цикла присваивать новые номера всем датчикам трассы и вновь программировать остановки и ответвления. Поэтому применение этой системы оправдано для простых трасс движения при постоянном порядке и направлении движения.

Позиционный метод программирования использует постоянные коды, присвоенные остановкам и ответвлениям. Датчик положения на робокаре получает однозначное сочетание сигналов (код) при прохождении датчика на трассе. Этот код сравнивается с очередным кодом программы, после чего выполняется заданная операция. В местах разветвлений трассы приходится располагать не один, как при счетно-импульсном методе, а несколько более сложных датчиков положения в зависимости от числа ответвлений. В результате позиционная система программирования более сложна по исполнению, но имеет более высокую надежность и гибкость. Она эффективна на сложных трассах движения при часто изменяющихся производственных циклах.

Управление транспортными средствами циклического действия (штабелерами, кранами, манипуляторами подвесного типа) обычно реализуется в виде позиционного числового программного управления с датчиками обратной связи по положению.

Последовательность перемещений транспортных средств ГПС определяется алгоритмами анализа текста заданий на обслуживание рабочих позиций, поступивших запросов на обслуживание и состояния информационной модели. Оптимизация транспортных операций способствует сокращению производственного цикла, выполнению его в соответствии с реальным протеканием производственных процессов, устраняет возможность простоя ГПМ из-за несвоевременного транспортирования объектов и позволяет наиболее эффективно использовать оборудование АТСС. Например, можно выбрать кратчайшую трассу

и рациональный режим движения для робокаров в соответствии с управляющей программой и реальными условиями производственного цикла. После разрядки аккумуляторных батарей до определенного предела робокары могут самостоятельно возвращаться на зарядную станцию. Повышает эффективность использования транспортного оборудования возможность изменения управляющей программы в любых или определенных пунктах трассы, готовность системы управления к повторению заданной программы при условии прохождения всей трассы движения в цикле, возвращение робокаров к началу трассы в тех случаях, когда они ранее использовались на временных маршрутах.

Контроль и диагностирование работы АТСС обеспечивают бесперебойное функционирование оборудования грузопереработки и его эксплуатационную надежность путем оперативного обнаружения критических и аварийных ситуаций. При этом осуществляется сбор информации о состоянии наиболее ответственных узлов АТСС и элементов системы управления, обработка этой информации по специальным алгоритмам и вывод результатов на пульт оператора.

В режиме диагностирования начального состояния определяется готовность всего комплекса оборудования АТСС к началу работы. Перед пуском АТСС необходим контроль цепей управления и электропитания, достоверности сигналов от датчиков и правильности исходного состояния всех компонентов.

Диагностирование текущего состояния оборудования АТСС заключается в контроле правильности выполнения управляющих программ в наиболее информативных и характерных случаях. В память управляющих ЭВМ и локальных подсистем контроля вводятся программы, содержащие информацию о заданных состояниях оборудования и элементов системы управления для отдельных шагов (элементов цикла) управления. В момент перехода к последующему шагу происходит сравнение текущих и задаваемых параметров с одновременным измерением времени отработки предыдущего шага. По соответствию набора параметров и своевременности отработки шагов можно анализировать состояние АТСС.

Задачами тестового диагностирования являются проверка работоспособности компонентов АТСС при воздействии тестовых программ и профилактическое выявление таких компонентов, функциональные параметры которых близки к отказу. В частности, выполняется контроль за прохождением технологических команд с проверкой уровня ответных сигналов (эхосигналов), их последовательности и времени получения. В результате отработки тестовых программ на дисплее высвечиваются результаты диагностирования.

Большое внимание при разработке и эксплуатации АТСС уделяется безопасности функционирования всех транспортных средств. Прежде всего обеспечиваются: автоматическое отключение питания электродвигателей передвижения и срабатывание тормозных систем при столкновении подвижных устройств с препятствиями, отклонении робокаров от трасс следования сверх допустимых пределов, отсутствии электропитания или неисправности системы слежения; возможность ручной

остановки и пуска подвижных устройств в любой момент времени; защита силовых и контрольных электрических, гидравлических и пневматических сетей от перегрузок; предупредительная сигнализация.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие объекты транспортирования и складирования имеются в ГПС?
2. Укажите производственные функции каждого из технических средств АТСС.
3. Чем определяется оптимальная вместимость автоматизированных буферных накопителей и центральных складов?
4. В каких условиях функционирования ГПС используют непрерывные, периодические и комбинированные грузопотоки?
5. Для каких разновидностей ГПС характерна работа технологического оборудования в режиме взаимодополнения?
6. Что влияет на выбор маршрута следования робокаров в ГПС?
7. Когда в системах управления АТСС необходимы алгоритмы, оптимизирующие последовательность перемещения грузов?
8. Какие параметры измеряют датчики в АТСС?
9. Почему АТСС считают организационной основой автоматизированного производства?
10. Какова цель диагностирования работы АТСС?

### 9.1. МЕТОДЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В любой системе управления в качестве одной из перво-степенных необходима функция контроля. Однако в условиях ГПС выполнение автоматизированного контроля и диагностирования приобретает новое содержание и особое значение. Для обеспечения надежного функционирования системы машин, входящих в состав ГПС, необходимо обеспечить системный подход к решению задач контроля и диагностирования состояния всех звеньев этой системы от режимов работы технологического и вспомогательного оборудования до правильности выполнения всех программ в вычислительной сети системы управления.

Технический контроль — это проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям. Объектами технического контроля являются продукция, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация. В ГПС технический контроль охватывает предметы труда, средства труда и технологические процессы.

Б всякий контроль осуществляется в два этапа. На первом этапе обеспечивается получение первичной информации о фактическом состоянии некоторого объекта и показателях его свойств. На втором этапе выполняется сопоставление первичной информации с заранее установленными требованиями, нормами, критериями и получение вторичной информации о расхождениях фактических и требуемых данных или обнаружение соответствия (несоответствия) фактических данных ожидаемым. Вторичная информация используется для автоматической или с участием человека выработки регулирующих воздействий на объект контроля.

Техническое диагностирование — это процесс определения технического состояния объекта с определенной точностью и указанием при необходимости места, вида и причины дефектов. Диагностирование осуществляется через измерение и контроль количественных значений параметров, качественных значений признаков, а также посредством анализа и обработки результатов измерения и контроля.

Система автоматизированного контроля (САК), входящая в систему обеспечения функционирования ГПС, должна обеспечивать требуемый уровень качества продукции и работоспособность оборудования. На *качество продукции* влияют в ходе контроля харак-

теристик и параметров исходных материалов, заготовок, рабочего инструмента, зажимных приспособлений, режимов изготовления, полуфабрикатов на всех стадиях изготовления, технологического оборудования и всех прочих элементов технологических процессов. На *работоспособность* ГПС влияют путем функционального контроля и диагностирования работы технологического оборудования, средств вычислительной техники, аппаратных и программных средств системы управления.

Практика эксплуатации ГПС свидетельствует, что существенное снижение производительности оборудования связано с его простоями при поиске неисправностей. В связи с этим необходим не только контроль технического состояния компонентов ГПС, но и автоматическое диагностирование с поиском дефектов.

Основой регистрации технического состояния оборудования ГПС является определение фактических значений его важнейших характеристик и сопоставление их с номинальными значениями. В результате сопоставления характеристик выявляют симптомы (внешние признаки) текущего состояния компонентов ГПС. Диагностирование оценивает результаты сопоставления этих состояний либо непрерывно в течение всего времени эксплуатации оборудования, либо периодически (через малые промежутки времени, нормированные длительные промежутки времени в ходе профилактического обслуживания или случайные промежутки времени при отказах).

Систематическое диагностирование значительно снижает трудоемкость обнаружения дефектов и неисправностей, локализует место и причину их появления, выявляет неисправности в самом начале их возникновения и позволяет избежать аварийных ситуаций. Кроме того, оно дает возможность введением соответствующих коррекций в систему управления своевременно компенсировать отклонения в функционировании оборудования и предотвратить снижение качества изделий.

Термин «дефект» используют для общего определения состояния объекта при таком изменении его характеристик, структуры и конструкции, которое приводит к недопустимому ухудшению выполнения основных функций или полной потере работоспособности объекта. Термин «неисправность» отражает физическую сущность и характер проявления дефекта. Например, отказы и сбои в работе объектов связаны с мгновенным нарушением правильности функционирования, а погрешности связаны с развивающимися во времени процессами изменения характеристики объектов.

Совокупность проверок, последовательность их реализации и правила обработки результатов для определения технического состояния объекта задаются *алгоритмом диагностирования*. Если этот алгоритм задает только одну фиксированную последовательность проверок, то его называют *безусловным*. Если в зависимости от предыдущего результата проверки может выполняться одна из нескольких возможных последовательностей дальнейших проверок, то соответствующий алгоритм диагностирования называют *условным*. Алгоритм, обеспечивающий определение экстремальных значений заданной целевой функции диагностирования, называют *оптимальным*.

Непрерывно по граничным условиям контролируют, например, зазоры в высокоточных механизмах и кинематических цепях, упругие и тепловые деформации в системе «станок — приспособление — инструмент — заготовка», температуру в опорах шпиндельных узлов и наличие смазочных материалов. Периодически через малые промежутки времени контролируют состояние режущего инструмента, размеры, форму и качество обрабатываемых поверхностей. С большим промежутком времени можно контролировать геометрические, кинематические и динамические характеристики ГПМ, так как в ходе эксплуатации они изменяются медленно. Информацию контроля используют для изменения режимов обработки, замены изношенного инструмента, расчета величин коррекции относительного положения инструмента и заготовки, изменения управляющей программы, реализации алгоритмов адаптивного управления, изменения операционной и маршрутной технологии.

В ГПС для обеспечения высоких значений показателей надежности оборудования и системы управления методы автоматизированного контроля и самодиагностирования с поиском мест дефектов и неисправностей разрабатывают применительно к механическим, электрическим, электромеханическим, гидравлическим и пневматическим устройствам, а также программно-аппаратным средствам вычислительной техники.

Первичная локализация неисправностей может быть осуществлена методом временных интервалов, при котором посредством сравнения с заданными нормами выполняется анализ простоев, контроль режимов работы, расчет кинематических параметров и циклограмм. Реализуется этот метод с использованием программируемых контроллеров, таймеров, специальных релейных схем и различных силомоментных датчиков.

Метод эталонных модулей предусматривает сравнение расчетных и экспериментально определенных численных значений показателей качества (сил, ускорений, мощности, амплитуд вибраций) с нормами технических условий. С помощью программных модулей определения силовых и кинематических параметров рассчитываются квалиметрические показатели, используемые для оценки качества объектов.

В распоряжении разработчиков и эксплуатационников ГПС находится обширный набор таких модулей в виде специального программного обеспечения. Успешно развивается квалиметрия — наука, изучающая и реализующая методы количественной оценки качества изделий.

Повысить достоверность диагностирования позволяет метод эталонных зависимостей. Однако этот метод требует сложное оригинальное аппаратное обеспечение, так как осуществляется сравнение экспериментально полученных функциональных зависимостей параметров диагностируемых объектов с эталонными.

При автоматизированном контроле и диагностировании объектов ГПС широко используют корреляционные методы обнаружения отклонений в характере зависимости между параметрами или изменении параметров во времени. В отличие от функциональных зависимостей

корреляция (вероятностная или статистическая зависимость) может учитывать наличие случайных факторов в соотношениях параметров.

Тестовый метод использует контрольные воздействия (тесты) и последующее сравнение ответных реакций контролируемого объекта с заранее заданным результатом. С помощью современных средств тестирования и самотестирования можно распознавать вид функционального состояния объектов и выполнять диагностирование с поиском места дефекта и его характера. В системах управления ГПС тестовый метод становится главным при определении технического состояния объектов. Устройство формирования тестовых воздействий имеет в своем составе программируемые источники питания, генераторы и схемы коммутируемой подачи сигналов на тестируемые объекты. Это устройство обычно комплектуется вместе со схемами приема выходных сигналов от объектов и с управляюще-вычислительным комплексом. Конкретный состав блоков, их технические характеристики, возможности коммутации и перепрограммирования зависят от типа контролируемых объектов, вида контроля (функциональный, параметрический) и набора статических и динамических контролируемых параметров.

Методом определения предельных состояний фиксируется факт выхода объектов в несоответствующие заданной программе или в недопустимые по конкретным причинам состояния. Например, фиксируется поломка инструмента, засорение фильтров смазки и СОЖ, недопустимое снижение уровня смазочного материала, засорение или утечки в гидросистеме, недостаточное усилие зажима, разрушение уплотнения, отклонение от расчетного расхода смазочного материала в гидростатических опорах, выход манипулятора робота в недопустимую зону. Как правило, этот метод предусматривает формирование одновременно с информацией для оператора сигналов на блокирующие устройства.

Методом сопоставления осциллограмм осуществляется анализ осциллограмм контролируемых параметров, записанных при различных условиях работы объектов контроля. Наиболее часто метод используется в ходе профилактического контроля и при исследовании новых конструкций. Спектральный и спектрально-корреляционный анализ позволяет выделять и фиксировать изменение соответствующих высокочастотных и низкочастотных сигналов от различных источников контролируемых объектов.

По решаемым САК задачам можно выделить приемочные, профилактические и прогнозирующие методы контроля. Для ГПС задачи контроля усложнены тем, что все компоненты САК должны функционировать не при стабильной технологии и установившейся номенклатуре выпуска продукции, характерных для крупносерийного и массового производства, а в изменяющихся произвольно от изделия к изделию условиях. Это вызывает необходимость в переходе от специализированных процедур и средств контроля к универсальным. САК призваны расширить контроль заготовок и полуфабрикатов на этапах изготовления, тем самым обеспечив переход от контроля качества (разработ-



ки) готовой продукции к управлению качеством в процессе ее изготовления.

САК позволяют непрерывно следить за функционированием каждого модуля ГПС, оперативно диагностировать состояние его узлов и агрегатов, прогнозировать оставшиеся ресурсы работы и осуществлять на этой основе своевременное техническое обслуживание оборудования по его состоянию. *Обслуживание по состоянию* — наиболее гибкий, экономичный и эффективный метод поддержания работоспособности оборудования ГПС, важнейший компонент сопровождения оборудования при эксплуатации.

В общем случае ГПМ можно представить в виде преобразующей системы с двумя входами и одним выходом. На входы этой системы подаются заготовки и управляющие программы, а на выходе появляются готовые детали как результат преобразования заготовок и программ внутри системы. К задачам *внешнего диагностирования* относятся проверка размеров и точности установки заготовок на ГПМ, обнаружение ошибок в управляющих программах и контроль готовых деталей. Задачи *внутреннего диагностирования* связаны с обнаружением погрешностей и отказов ГПМ, режущего инструмента и системы ЧПУ, а также с промежуточным контролем деталей.

Средства обнаружения ошибок в управляющих программах и неисправностей в системах ЧПУ реализуют аппаратным и программным способами (см. разд. 7.4) при изготовлении систем. Что касается средств контроля размеров заготовок, точности их установки, размеров и качества деталей, износа и поломки инструмента в ходе обработки, то они обычно представляют собой самостоятельные устройства.

По воздействию на объект контроль может быть активным и пассивным. Перспективны активные методы контроля параметров изделий при их изготовлении. Активный контроль в зоне обработки позволяет исключить появление брака за счет своевременного введения корректирующих воздействий. К средствам активного контроля относят, например, устройства компенсации износа шлифовального круга методом его правки перед чистовыми рабочими ходами, автоматическое комплектование и сборку по результатам измерений параметров собираемых деталей и узлов, регулирование размеров с помощью подналадочных систем, автоматическое регулирование толщины проката, дозированное отвешивание исходных материалов, выравнивание массы поршней по результатам ее измерения и т. д. Любое измерение, в результате которого осуществляется определенное воздействие на технологический процесс с целью обеспечения необходимого качества изделий, можно отнести к активному контролю.

Если на ГПМ обрабатывается только одна поверхность, то применяют одномерные фотоэлектрические, индуктивные и пневматические приборы активного контроля, информация которых используется для корректирования управляющих программ. На операциях, предусматривающих обработку нескольких простых поверхностей, часто используют многомерные измерительные головки с индуктивными датчиками. Измерительные головки настраивают по образцовой детали и в процессе запрограм-

мированных перемещений выдают результаты измерений в виде напряжения, пропорционального отклонению размеров контролируемой детали от размеров образца. Путем анализа результатов можно выявить отклонение не только размеров, но и формы поверхностей. Для этого одну и ту же поверхность контролируют несколькими датчиками или применяют метод сканирования (последовательного просмотра) одним датчиком.

Если контролируемые поверхности имеют сложную конфигурацию или число точек контроля превышает несколько десятков, используют многоординатные контрольно-измерительные машины, управляемые от ЭВМ.

Контроль условий производства связан с обеспечением безопасности работы оператора, получением необходимого качества продукции, предупреждением неисправностей оснастки и оборудования, которые могут вызвать тяжелые последствия. Среди параметров технологической среды прежде всего важны температура, влажность, запыленность и уровень вибраций. На ГПМ всегда предусматривается возможность автоматического аварийного останова процесса обработки в случае перегрузок приводов, превышения наибольшей скорости рабочих органов, перерыва в электроснабжении, отклонения временного интервала между выполнением отдельных функций от заданного, нарушения сигнала обратной связи, разрегулирования зажимного приспособления, появления постороннего предмета в зоне обработки и т. д.

## **9.2. ПОТОКИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ГПС**

Получение первичной информации о фактическом состоянии контролируемых объектов обеспечивают измерительные преобразования (датчики). Измерительный преобразователь представляет собой средство измерений, предназначенное для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Поскольку в ГПС измерительная информация в подавляющем большинстве случаев обрабатывается с помощью электронных устройств, на выходе измерительных преобразователей целесообразно иметь электрические аналоговые или дискретные сигналы, хотя в отдельных случаях возможно использование выходных сигналов с другим энергетическим носителем информации. Например, для автономно функционирующих в транспортных системах роботов с пневматическими приводами применяют для распознавания объектов пневмоакустические датчики.

По принципу действия все датчики с электрическими выходными сигналами подразделяют на параметрические и генераторные. К первой группе относят датчики, в которых измеряемая величина преобразуется в параметр электрической цепи; при этом необходим внешний источник питания. В генераторных датчиках происходит непосредственное преобразование измеряемого параметра в электрическую величину.

По способу формирования выходных сигналов наиболее распространены импульсные, фазовые и кодовые датчики. По характеру измеряемого параметра можно выделить электромеханические, электромагнитные, фотоэлектрические, электростатические, гидравлические, пневматические, температурные, ионизационные, термохимические, пьезоэлектрические, магнитоупругие, тензорезисторные и многие другие типы датчиков. Кроме того, различают датчики для линейных и угловых перемещений, измерения силы, момента вращения, ускорения, давления, вакуума, геометрических размеров, расхода жидкости и т. д.

К датчикам предъявляют требования, связанные с их надежностью, метрологическими характеристиками, конструктивными и эксплуатационными особенностями, экономическими факторами.

В ГПС требуется измерять в общей сложности сотни самых различных физических и химических величин. Автоматизированный и автоматический контроль и диагностирование пронизывают все компоненты ГПС, все информационные и материальные потоки. Контрольные функции распределены по разным уровням в зависимости от конкретных условий.

*Нижний уровень САК* обеспечивает выполнение самого большого количества функций, осуществляя получение первичной информации о состоянии контролируемых объектов и замкнутость на систему управления. На этом уровне расположены: для ГПМ — датчики положения рабочих органов, адаптивного управления и активного контроля; для промышленных роботов — датчики позиционирования, осязания и систем технического зрения; для АТСС — датчики цикловой и путевой автоматики; для обслуживающих систем — датчики влажности, температуры, расхода материалов, электроэнергии и т. д. Объектами контроля нижнего уровня являются: параметры заготовок, полуфабрикатов, готовых изделий; технологические операции; техническое состояние и производственное расположение составных частей основного и вспомогательного оборудования. Кроме того, на нижнем уровне САК выполняется подготовка и представление необходимой информации в сферу технического обслуживания для прогнозирования отказов оборудования и оснастки.

На рис. 9.1 показан электромеханический индуктивный измерительный преобразователь, используемый для контроля нагрузки на шпинделе ГПМ. Между режущим инструментом (сверлом, разверткой, зенкером, метчиком и т. п.) и шпинделем инструментальной головки размещен упругий элемент (торсион). На ведомом инструментальном шпинделе закреплен подвижный полюсный сердечник, а боковые сердечники связаны с ведущим шпинделем головки. Полюсные венцы сердечников расположены в магнитном поле обмоток, включенных в индуктивно-резисторный измерительный мост, выходная цепь которого содержит выпрямитель. Нагрузка на режущем инструменте определяется по углу закручивания торсиона, который пропорционален передаваемому крутящему моменту.

*Средний уровень САК* располагает аппаратными и программными средствами контроля и диагностирования в составе систем ЧПУ оборудо-

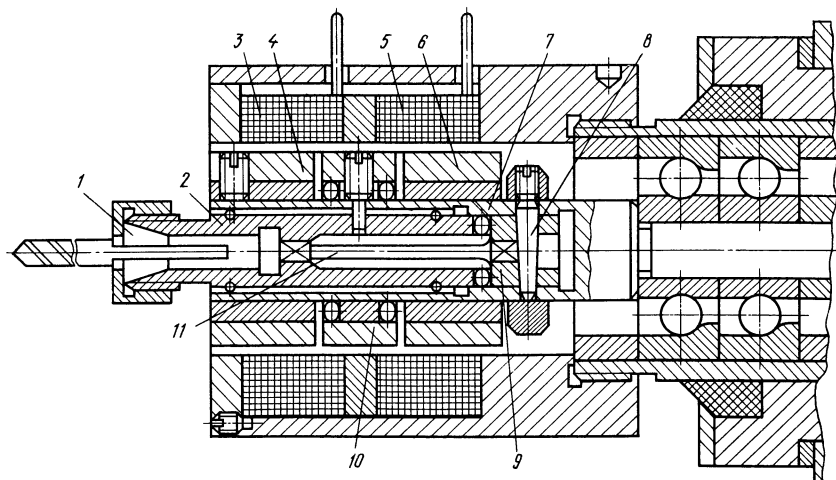


Рис. 9.1. Электромеханический индуктивный измерительный преобразователь: 1 — цанговый патрон для зажима режущего инструмента, 2 — инструментальный шпиндель, 3 и 5 — обмотки; 4 и 6 — боковые полюсные сердечники; 7 — шпиндель головки, 8 — штифт, 9 — втулка; 10 — подвижный полюсный сердечник, 11 — упругий элемент (торсион)

дованием и локальных сетей ЭВМ. При этом решаются следующие типовые задачи: обработка информации о контролируемых объектах, получение вторичной информации и выработка регулирующих воздействий на объекты; контроль качества изделий на контрольно-измерительных машинах; самоконтроль и контроль функционирования нижестоящего уровня.

*Верхний уровень САК* обеспечивает управление качеством продукции при ее изготовлении, выполняя по многофункциональным алгоритмам обобщение информации, поступающей с нижнего и среднего уровней.

Взаимосвязь характеристик ГПМ с основными контролируемыми параметрами показана на рис. 9.2. На ГПМ воздействуют многие факторы, которые можно объединить в силовые и тепловые. По отношению к ГПМ, его конструктивным элементам и системам эти факторы могут быть внутренними или внешними, по времени действия — постоянными или периодическими, по характеру действия — случайными или детерминированными.

Воздействие силовых и тепловых факторов нарушает заданные функционально обусловленные характеристики относительного положения конструктивных элементов, движения рабочих органов и состояния ГПМ. Геометрические погрешности характеризуют погрешности взаимного расположения узлов станка и зависят от точности обработки основных деталей. Кинематические погрешности складываются вследствие погрешностей в передаточных числах зубчатых, червячных и винтовых передач кинематических цепей, изготовления элементов приводов и переменной жесткости станка.

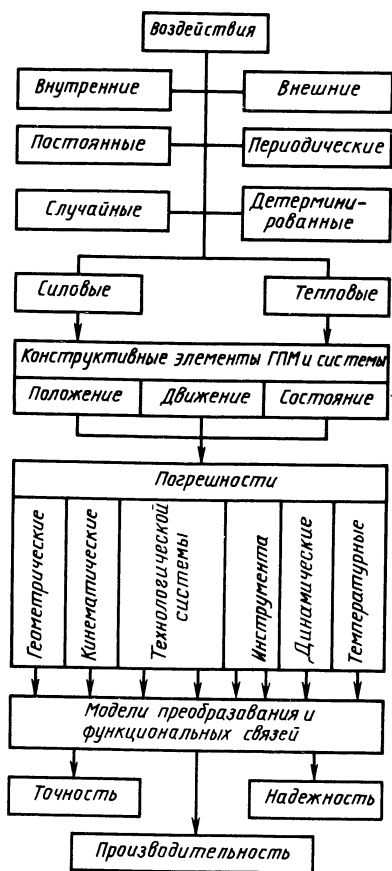


Рис. 9.2. Схема взаимосвязи характеристик ГПМ с основными контролируемыми показателями качества

Упругие погрешности возникают из-за деформации несущей системы станка и нарушают правильность взаимного расположения инструмента и заготовки при действии силовых факторов. Динамические характеристики определяют параметры колебаний конструктивных элементов станка относительно их заданного положения, обусловленных случайно или периодически действующими на них силовыми нагрузками при пуске, торможении, реверсировании и рабочих ходах инструмента и заготовки.

Характеристики изнашивания определяют отклонения первоначальных размеров и формы подвижных сопрягаемых поверхностей элементов станка. Погрешности инструмента связаны с его размерным износом, который происходит интенсивно и является одной из важнейших причин погрешностей обработки. Кроме того, погрешности изготовления инструмента и его установки на ГПМ также существенно влияют на точность обрабатываемой детали.

Уровень шума характеризуется величиной уровня звукового давления, обусловленного колебаниями элементов станка. Тепловой режим станка характеризует пространственно-временное изменение его температурного поля в результате комплексного воздействия конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, состояния окружающей среды.

Контроль соответствия отдельных погрешностей установленным нормам не гарантирует достоверность оценки качества ГПМ и качественный технологический процесс обработки, так как погрешности ГПМ зависят от множества случайных и систематических характеристик со сложными функциональными зависимостями. Необходимы обобщенные более объективные показатели качества ГПМ.

Под качеством ГПМ понимают обусловленную служебным назначением способность изготавливать детали с заданной точностью, производительностью и надежностью при минимальной себестоимости. Эти укрупненные показатели характеризуют технический уровень ГПМ в обобщенном виде, более объективно отражают качество ГПМ и поэтому являются основными при контроле и диагностировании. Однако,

чтобы иметь данные о точности, производительности и надежности ГПМ, необходимо математическое моделирование взаимосвязи характеристик ГПМ, установление которой сложная и трудоемкая задача.

По способу измерения характеристик ГПМ различают непосредственный и косвенный контроль. Непосредственные измерения заключаются в контроле отдельных параметров ГПМ. Они позволяют выявлять величину измеряемого параметра, исследовать причины образования погрешностей и их изменения при различных воздействиях, что дает возможность анализировать и находить средства снижения, компенсации воздействий и управления качеством ГПМ по исследуемому свойству. Косвенный контроль (оценка качества ГПМ по обработанной детали-образцу, оценка процесса резания по его звуковым характеристикам и т. д.) позволяет определять обобщенные (интегральные) свойства ГПМ, что является основой автоматизированного управления качеством продукции. Чем выше информативность измеряемых показателей качества ГПМ как единого целого, тем более обобщенную оценку дает контроль. Однако при косвенном контроле затруднено установление причинно-следственных связей между контролируемым показателем качества и факторами, его обуславливающими.

По способу изменения состояния ГПМ контроль качества можно реализовать без регулирования или с регулированием воздействий и предельных условий. В первом случае контролируемые параметры определяют свойства ГПМ при фиксированном пространственном силовом и тепловом состояниях. Во многих случаях это не соответствует действительности и поэтому проведенные измерения при всей их достоверности не отражают истинные величины показателей качества ГПМ. Во втором случае силовые и тепловые воздействия и их предельные (краевые) условия изменяют совместно или в отдельности.

Управление качеством продукции в ГПС связано с необходимостью нормирования значений показателей качества ГПМ, создания типовых схем контроля и типовых автоматизированных средств комплексной оценки качества ГПМ, развития математических методов анализа контролируемых параметров.

Важнейшее значение для построения САК имеют задачи нормирования точности в системе «чертеж — готовая деталь». Под систематическими погрешностями понимают разность математических ожиданий входной (по чертежу) и выходной (по готовой детали) функции. Стационарный (установившийся) режим работы, в котором возникают погрешности, моделирует функция, которая имеет вероятностные характеристики (математическое ожидание, дисперсию), не зависящие от времени. При нестационарном (переходном) режиме рассматриваемая функция имеет тенденции к изменению во времени, и ее вероятностные характеристики зависят от выбора момента отсчета.

Практически все элементы системы «чертеж — готовая деталь» вносят систематические и случайные погрешности. Укрупненно можно выделить погрешности четырех основных частей этой системы: подготовка управляющей программы, система ЧПУ, система «станок — инструмент — приспособление — заготовка», приводы рабочих органов.

При разработке САК необходимо: выявить потоки контрольно-измерительной информации в ГПС и формы ее представления; определить функции контроля и диагностирования между иерархическими уровнями, установить необходимую степень их автоматизации и совмещения с обработкой; определить номенклатуру и характеристики измеряемых параметров, периодичность измерений; выбрать или разработать технические средства, методическое, математическое и программное обеспечение, реализующие требуемую точность и надежность функционирования ГПС; установить функциональные связи САК в системе управления ГПС.

При эксплуатации ГПС необходимы следующие режимы функционирования САК. Режим запуска начинается с опроса всех компонентов и систем ГПС. Проводится диагностирование их состояния, вывод в начальное положение; проверяется наличие и коды заготовок, оснастки. В ходе запуска САК отслеживает устранение выявленных отказов, неисправностей и несоответствий.

В рабочем режиме САК выполняет все функции автоматизированного контроля и диагностирования в полном объеме, обеспечивая управление качеством изделий в реальном масштабе времени и оперативный контроль за ходом производства.

Наладочный режим необходим для перенастройки САК. Управляющая информация поступает на ЭВМ верхнего уровня, которая формирует команды по реконфигурации системы на среднем и нижнем уровнях. По этим командам устанавливается совокупность контролируемых параметров нового изделия, норм контроля и соответствующих функций средств контроля.

Режим планового останова обеспечивает последующий запуск САК не с начального положения, а с положения останова. При этом режиме предусмотрено завершение технологических операций, снятие и отправка изделий в накопителя, а компоненты ГПС последовательно в течение минимально необходимого времени прекращают функционирование. Режим аварийного состояния инициируется средствами любого уровня САК.

### 9.3. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ

Функционирование САК в разных производствах (механообработка, штамповка, сборка, литейное производство) существенно различается. В качестве примера рассмотрим некоторые вопросы контроля процессов механообработки.

Реализация функций контроля и диагностирования наиболее эффективна при активном управлении технологическими процессами механообработки за счет использования информации о протекании процессов непосредственно в зоне резания. К основным возмущающим для процесса механообработки воздействиям относятся: износ режущего инструмента, разброс припуска на обработку, неравномерность припуска, колебание твердости материала заготовок, непостоянство температуры заготовок при поступлении на обработку и в процессе обработки, погрешность установки заготовок на станке, изменение жесткости

системы «станок — приспособление — инструмент — заготовка» при перемещении инструмента и заготовки по координатам обработки, изменение технического состояния станка.

Эффективность применения адаптивного управления обусловлена: возможностью автоматизации производства при широком диапазоне изменения обрабатываемых материалов, режимов резания, припусков на обработку, твердости материалов, а также при обработке заготовок из новых труднообрабатываемых (например, жаропрочных) материалов, для которых нет проверенных данных по режимам резания; повышением точности обработки деталей с компенсацией влияния случайных факторов; выполнением сложных технологических операций с обеспечением требуемого качества механообработки при экономичном расходе дорогостоящего режущего инструмента; упрощением процесса подготовки управляющих программ.

Объективность назначенных в программе режимов резания зависит от того, насколько точно начальная информация характеризует действительные условия обработки и насколько остаются неизменными исходные параметры. В действительности параметры обработки даже при изготовлении деталей одной партии существенно меняются, а нормативные данные по режимам резания не учитывают всего многообразия технологических способов получения заготовок и технического состояния станков.

Адаптивное управление обеспечивает автоматическое приспособление режимов обработки деталей по определенным критериям к изменяющимся условиям. На основе информации о текущем состоянии обработки система управления, увеличивая или уменьшая съем материала с заготовки путем регулирования скорости резания и подачи, поддерживает постоянными значения заданных параметров технологического процесса обработки или обеспечивает получение оптимальных значений таких критериев, как точность размеров деталей, шероховатость обработанных поверхностей, производительность обработки и ее себестоимость. Соответственно системы адаптивного управления подразделяют на системы *предельного* и *оптимального* управления (рис. 9.3). Поскольку алгоритмы адаптивного управления, учитывающие большой объем различной информации, сложны, то стало традиционным выделение отдельных контуров управления по критерию точности, производительности, стойкости инструмента, себестоимости обработки. Количество контролируемых параметров также ограничивается до минимально необходимого.

Различают контроль параметров инструмента и обрабатываемых деталей непрерывный, через короткие и длительные промежутки времени, в перерывах процесса резания, начале смены, по требованию, во время включения станка, для каждой новой партии деталей и каждой детали. Периодичность контроля зависит от вида контролируемых параметров, интенсивности их изменения и способа контроля. Например, силы резания измеряют только в процессе обработки, многие точностные параметры станков — через длительные промежутки времени, а температуру и амплитуду вибраций — непрерывно.

Рабочие поверхности режущего инструмента в процессе обработки



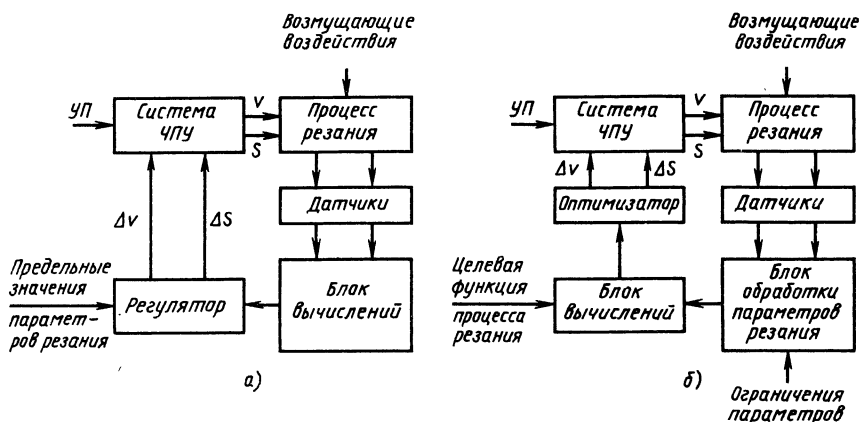


Рис. 9.3. Структурные схемы систем адаптивного управления ГПМ:

*а* — предельного управления; *б* — оптимального управления,  $v$ ,  $S$  — величины скорости резания и подачи,  $\Delta v$ ,  $\Delta S$  — изменение величин скорости резания и подачи

испытывают действие высоких нагрузок и температур. Такие экстремальные условия эксплуатации инструмента вызывают более интенсивные нарушения его работоспособности, чем других элементов станка. Критерии износа, которые определяют необходимость автоматической замены инструмента на новый, зависят от характера выполняемой механообработки, режимов резания, инструментального и обрабатываемого материалов, технического состояния узлов станка, качества СОЖ. К этим критериям можно отнести: резкое возрастание износа, выкрашивание, изменение расстояния от вершины режущей кромки до постоянной базы, увеличение шероховатости обрабатываемой поверхности, превышение температуры, нагрузок и уровня вибраций допустимых значений.

Таким образом, диагностирование состояния режущего инструмента — актуальная задача САК, которая во многих действующих системах решается в ходе контроля длительности цикла обработки и общего времени резания. Полезность контроля временного параметра характеризуется тем, насколько близко к реальным условиям определен статистический период нормального износа инструмента и какое значение ресурса задано в системе управления для каждого вида инструмента в разных условиях механообработки. Практика эксплуатации САК показывает, что сложность динамической системы «станок — приспособление — инструмент — заготовка» и наличие многих внешних воздействий на процесс резания снижают достоверность контроля временного параметра. Различные виды нарушения работоспособности режущего инструмента и даже его поломка чаще всего возникают случайно. Поэтому функцию контроля временного параметра следует рассматривать только как вспомогательную в обеспечении надежной и высокопроизводительной механообработки.

Для более эффективного диагностирования качества деталей состоя-

ния режущего инструмента в часто изменяющихся условиях механообработки на ГПМ необходимо комбинированное применение различных методов контроля с использованием сенсорных датчиков и многофакторных алгоритмов обработки собираемой информации. К основным требованиям при этом относятся: обеспечение функций диагностирования на всех технологических операциях, выполняемых ГПМ; отличие признаков выходных сигналов для различных видов обработки на каждом ГПМ; получение информации как о постепенном износе, так и о факте разрушения инструмента; малые размеры и простота встраивания датчиков, инвариантность их к воздействию внешних факторов (стружки, технологической среды, вибраций, нароста на режущей кромке, высоких температур); возможность регулировки при эксплуатации и обеспечение необходимых быстродействия и разрешающей способности локальной подсистемы контроля.

Целесообразность введения в состав САК локальных подсистем контроля объясняется возможностью физического приближения средств логической и математической обработки информационных сигналов к датчикам, расположенным на ГПМ. Эти подсистемы являются модулями САК и имеют в своем составе микропроцессоры. Они обрабатывают выходные сигналы датчиков, сравнивают величины обработанных сигналов с эталонными значениями контролируемых параметров и формируют команды системе ЧПУ и диагностические сигналы для управляющей ЭВМ. В частности, контролируя износ инструмента, они формируют команды на прекращение и возобновление цикла обработки, вывод инструмента в позицию замены, автоматическую замену в магазине ГПМ вышедшего из строя инструмента дублером, изменение управляющей программы в зависимости от характера нарушения работоспособности инструмента.

Средства контроля размеров инструмента, заготовок и деталей на ГПМ можно объединить в две группы: измерительные головки и универсальные датчики, встраиваемые в устройства контроля различного назначения. Измерительные головки устанавливают либо в инструментальный магазин и вводят их в работу манипулятором подобно одному из инструментов, либо в револьверную головку, либо на специальной автономной подводимой опоре. Головки выдают сигналы в момент соприкосновения щупов (наконечников) с объектом контроля или измерения.

Однонаправленная контрольно-измерительная головка с индуктивным датчиком (рис. 9.4) снабжена набором щупов с ножевым, сферическим и плоским торцами, что позволяет контролировать диаметры наружных и внутренних поверхностей и сложные контуры. (Диапазон измерений 2 мм, погрешность измерений 0,1 мкм). По программе контроля шпиндель ГПМ с установленной в нем измерительной головкой перемещается до соприкосновения щупа с объектом. Сигнал касания через приемник передается в УЧПУ. При этом в системе управления фиксируется величина перемещения устройствами обратной связи приводов подач и вычисляются координаты касания.

Когда измерения не производятся, головка автоматически переме-

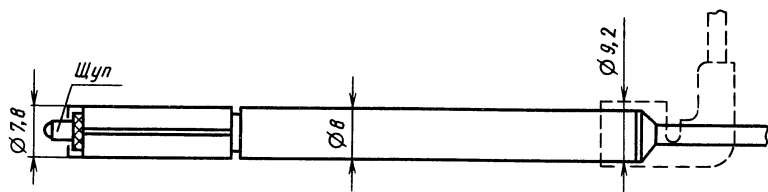


Рис. 9.4. Однонаправленная контрольно-измерительная головка

щается из шпинделя в инструментальный магазин. Передача сигнала касания может осуществляться бесконтактно. Например, перспективно использование для передачи этого сигнала инфракрасного излучения, которое не только проникает через масляный туман, дым и СОЖ, но и отражается большинством поверхностей, окружающих зону обработки, значительно усиливая сигнал. Светодиоды установлены по периферии головки и передают на приемник сигнала, расположенный на корпусе шпинделя, модулированный световой поток: смещение щупа в момент касания вызывает изменение частоты модуляции.

Простотой и высокой надежностью отличается индуктивный способ передачи сигнала касания, при котором используется изменение частоты электрического тока в диапазоне 5...10 кГц. Осциллятор и питающая его батарея расположены в измерительной головке. Осциллятор включается автоматически при установке головки в шпиндель.

Многонаправленная (многокоординатная) контрольно-измерительная головка (рис. 9.5) имеет наконечник с щупами 5, узел крепления наконечника 12, плоские пружины 2, 3 и 4, кронштейны 1 и 6, блок датчиков 7, тягу 9 и спиральную пружину 13 устройства уравнивания. Благодаря гибким связям горизонтальная пластина 10 может перемещаться параллельно осям  $X$  и  $Y$ , а кронштейн 6 — параллельно оси  $Z$ . Следящая система с микродвигателем, установленная в головке, автоматически уравнивает перемещение элементов гибкой связи 8 и 11. Натяг по каждой оси создается с помощью управляемых соленоидов.

Параметры износа (характеристики лунок и ленточек износа) режущей кромки инструмента измеряют прямыми и косвенными методами. При осуществлении прямых методов измерения используют вспомогательные движения инструмента, величину выхода инструмента или отдельных его частей и зубьев из процесса резания, временное складирование инструмента. В ГПС обычно предпочитают проводить контроль состояния инструмента именно в ходе обработки заготовок как наиболее оперативный, достоверный и не увеличивающий общего производственного цикла введением дополнительных многочисленных контрольных операций. Нарушение работоспособности инструмента при таком контроле поддается прогнозированию, а случайная поломка может быть своевременно обнаружена. Однако определение такими методами режущей способности инструмента в любой момент времени без прекращения процесса резания вызывает затруднения, связанные с работой датчиков.

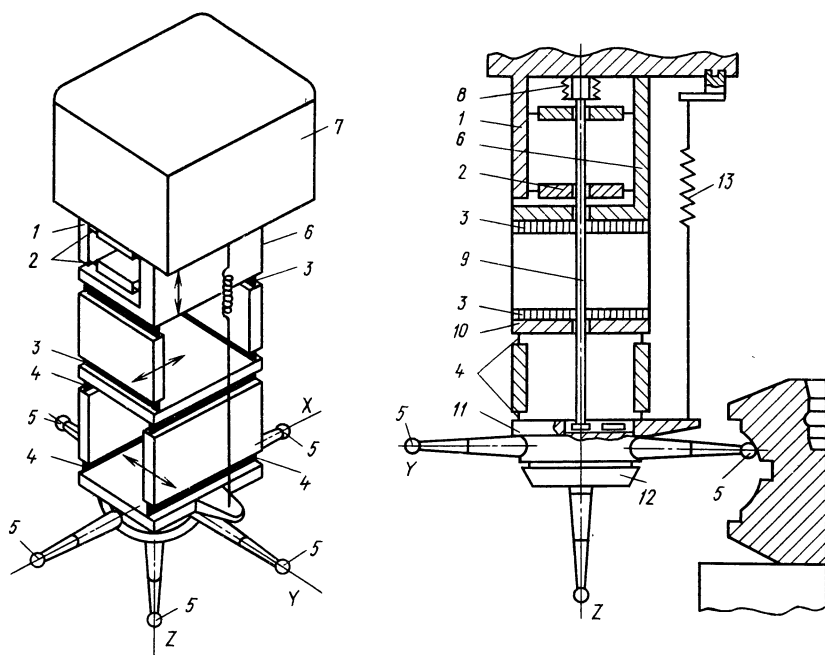


Рис. 9.5. Многонаправленная контрольно-измерительная головка

На рис. 9.6 показано устройство для прямого измерения износа инструмента ГПМ на основе бесконтактного пневматического измерительного преобразователя типа сопло-заслонка. Это устройство измеряет расстояние между торцевой поверхностью измерительного сопла и действующей в качестве заслонки поверхностью заготовки. По мере изнашивания инструмента зазор  $A$  изменяется, что приводит к соответствующему изменению давления  $p$  в измерительной камере. Особенностью такого устройства является необходимость изготовления специальных резцов с измерительным соплом и пневмоканалом, что ослабляет и усложняет инструмент, затрудняет его автоматическую смену.

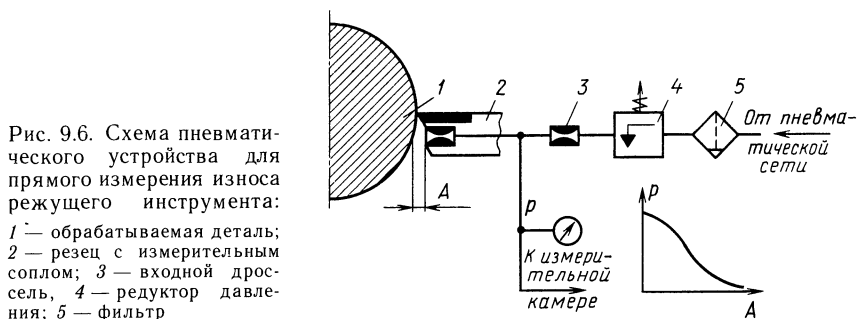


Рис. 9.6. Схема пневматического устройства для прямого измерения износа режущего инструмента:  
1 — обрабатываемая деталь;  
2 — резец с измерительным соплом;  
3 — входной дроссель;  
4 — редуктор давления;  
5 — фильтр

Необходимо также преобразование пневматического сигнала в электрический для САК.

Для измерения износа инструмента применяют телемеханические устройства, включаемые при выводе инструмента через заданные промежутки времени из зоны резания в измерительную позицию и состоящие из телевизионной установки и осветителя с набором объективов (рис. 9.7). Осветитель устанавливается на подвижном тубусе передающей камеры. Наводка на резкость осуществляется с пульта управления. Лучи света от лампы 1 отражаются полупрозрачным зеркалом 4 через объектив 3 на объект измерения 2. Отраженные лучи фокусируются на мишени 6 передающей телевизионной трубки и преобразуются в сигналы изображения видеоконтрольного устройства 7. Перед мишенью передающей трубки размещена стеклянная шкала 5 с делениями через 0,1 мм, изготовленная методом фотопечати. При большом коэффициенте увеличения измерительного устройства цена деления шкалы на экране видеоконтрольного устройства составляет около 10 мкм.

Интенсивность и скорость износа режущих кромок имеют корреляционные связи с рядом характеристик механообработки и влияют на поведение всех элементов системы «станок — приспособление — инструмент — заготовка». Поэтому косвенные методы измерения контактным и бесконтактным способом созданы в качестве альтернативы сложным методом непосредственного контроля износа. Так как принципы и техника измерений при косвенных методах сравнительно просты, то они находят все более широкое применение. При этом используют многие принципы измерений (механические, оптические, пневматические, радиоизотопные, акустические, электронные), которые позволяют получать в процессе обработки непрерывную и периодическую информацию о состоянии инструмента от датчиков, расположенных на определенных участках инструмента, оправок, заготовок и узлов станка. Они пригодны также для оценки процесса изнашивания инструмента в течение

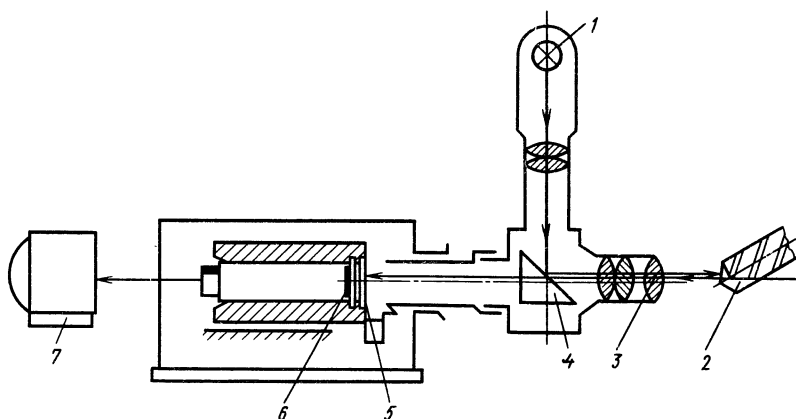
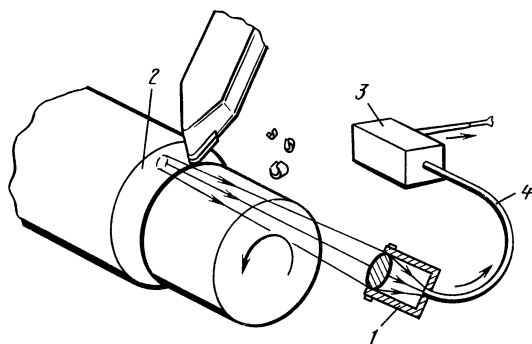


Рис. 9.7. Оптическая схема телемеханического устройства для прямого измерения износа режущего инструмента

Рис. 9.8. Схема фотоэлектрического устройства для косвенного контроля износа режущего инструмента:  
1 — фотоприемник, 2 — обработанная поверхность заготовки; 3 — электронный блок, 4 — световод



коротких интервалов стабильного резания и для регистрации резких изменений износа при разрушении.

К косвенным методам относят измерения текущих параметров электроприводов, сил резания, температуры резания, электрических характеристик зоны контакта режущего инструмента с заготовкой, размеров заготовки, расстояния от суппорта станка до обрабатываемой поверхности, шероховатости получаемой поверхности и уровня вибраций. Рассмотрим несколько примеров.

На рис. 9.8 изображена схема фотоэлектрического устройства для косвенного контроля износа инструмента по состоянию обработанной поверхности. При износе инструмента или его поломке изменяются шероховатость и отражающие свойства этой поверхности, что фиксируется фотоприемником, воспринимающим модулированное инфракрасное излучение.

Простейшим методом контроля состояния инструмента в процессе резания является непрерывное или через короткие промежутки времени измерение текущих параметров электроприводов. Датчики регистрируют изменения тока нагрузки электродвигателей и через аналого-цифровые преобразователи передают информационные сигналы в управляющую ЭВМ. Информативность этого метода во многом зависит от полноты и точности статистических данных о значениях тока нагрузки для всех применяемых инструментов и режимов резания с учетом особенностей групповой технологии.

Из многих вариантов измерительных преобразователей крутящего момента наиболее пригодными для шпинделей ГПМ оказались магнитоупругие датчики, для которых не нужны токосъемные устройства с вращающихся шпинделей, а конструкция шпиндельных узлов практически не изменяется при встройке датчиков. Магнитоупругий датчик представляет собой кольцевую электромагнитную систему, через центральное отверстие которой свободно проходит шпиндель. Электромагнитная система имеет цепь возбуждения и измерительную цепь в виде набора катушек на магнитопроводах, размещенных вдоль оси датчика так, что магнитные потоки замыкаются через воздушный зазор и вращающийся шпиндель. Магнитные оси цепи возбуждения и измерительной цепи взаимно перпендикулярны, и поток сцепления с катушками

равен нулю. При наличии крутящего момента из-за деформации кристаллической решетки материала чувствительного элемента шпинделя вектор магнитного потока возбуждения отклоняется от исходного направления. В результате появляются в измерительных катушках ЭДС, зависящие от крутящего момента.

Информацию о температуре в зоне резания можно получить способом измерения термо-ЭДС естественной термопары инструмент — деталь. Термоэлемент резания имеет определенную вольт-амперную характеристику. Изменение температуры вызывает изменение термо-ЭДС и параллельное смещение вольт-амперной характеристики. При этом изменения характеристики для различных значений глубины резания и величины подачи монотонны. По данным вольт-амперной характеристики рассчитывается формальный параметр, значения которого находятся в относительном соответствии с параметрами обрабатываемости машиностроительных материалов. Эта особенность используется при построении локальной подсистемы контроля: в алгоритмах учитываются формальные параметры для различных обрабатываемых материалов.

Известны методы контроля состояния режущего инструмента по свойствам сходящей при резании стружки. Например, по ее температуре контроль осуществляется с помощью полупроводниковых фотоэлементов, работающих в инфракрасной спектральной области.

Перспективно использование акустического излучения для контроля состояния режущего инструмента. Акустическое излучение является носителем энергии, которая высвобождается в твердом теле при деформации или разрушении. Акустический сигнал регистрируется специальным датчиком, который воспринимает ударные волны, возникающие при высвобождении энергии. Различают низкочастотный сигнал с большой амплитудой, связанный с поверхностными явлениями в твердом теле, и высокочастотный сигнал с меньшей амплитудой, связанный с внутренними явлениями при нагружении материала. Между акустическим сигналом, генерируемым режущим инструментом в процессе механообработки, и состоянием его режущей кромки существует определенное соотношение, т. е. характер сигнала (звука) зависит от степени износа инструмента. С увеличением износа растет интенсивность колебаний в низкочастотной области спектра.

Все большее распространение в САК получают оптико-электронные методы контроля с применением световодов и лазерной техники. Они, в частности, позволяют получать и анализировать коды изображений зоны износа режущей кромки инструмента, а также измерять геометрические размеры и шероховатость поверхностей обрабатываемых заготовок, что является важнейшими критериями качества механообработки.

Достаточно распространенная группа методов контроля процессов механообработки основана на определении сил резания посредством измерения деформаций различных элементов в зоне резания. При этом используют тензометрические, пьезоэлектрические и магнитострикционные чувствительные элементы.

На рис. 9.9 показана схема системы контроля и диагностирования

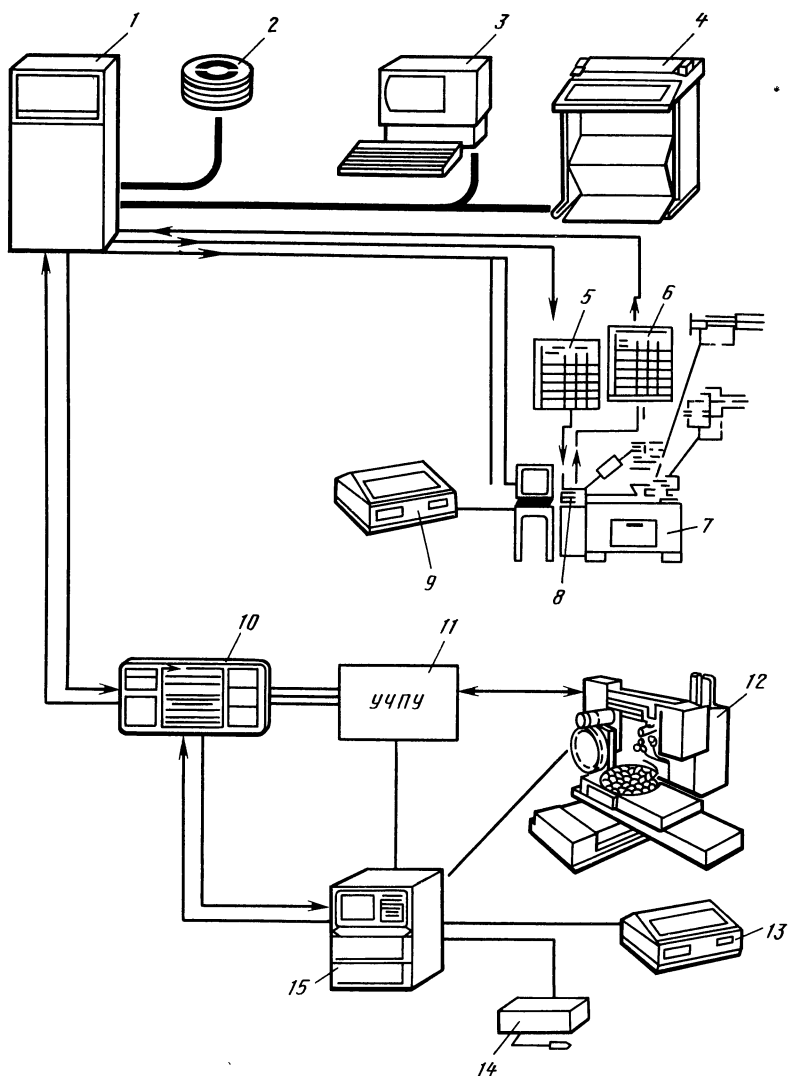


Рис. 9.9. Схема системы контроля и диагностирования режущего инструмента в составе САК:

1 — ЭВМ; 2 — магнитные диски памяти; 3 — дисплей, 4 — алфавитно-цифровое печатающее устройство; 5 — табло текущих данных инструмента; 6 — табло с информацией о загружаемом инструменте; 7 — установка для аттестации инструмента; 8 — передатчик информации; 9 и 13 — печатающее устройство, 10 — панель оператора системы ЧПУ, 11 — устройство ЧПУ станка; 12 — ГПМ; 14 — устройство чтения этикетки; 15 — станция для контроля инструмента

режущего инструмента в составе САК. Важнейшим компонентом этой системы является контрольно-измерительная микропроцессорная станция. Режущий инструмент, загружаемый в магазины ГПМ, аттестуют на уста-



новке с целью определения остаточного ресурса работы, который наносится на специальную этикетку печатающим устройством. Одновременно информация о загружаемом инструменте с помощью передатчика заносится в память ЭВМ и индицируется на табло. Во время работы ГПМ информация от датчиков, измеряющих ток нагрузки приводов, поступает в систему ЧПУ станков, где корректирует управляющие программы механообработки, осуществляя адаптивное управление процессом резания. Эта же информация поступает на станцию и в память ЭВМ. Станция обнаруживает поломку инструмента, фиксирует его износ и через ЭВМ передает эти данные на табло. В случае необходимости, печатается новая этикетка с новым значением остаточного ресурса. Устройство чтения этикетки используется для распознавания инструмента после выгрузки из магазина. Система выполняет контроль, диагностирование и перемаркировку инструмента, автоматически по коду на этикетке обеспечивает выбор требуемого инструмента для обработки поступающих деталей.

Контроль размеров заготовок выполняют до механообработки, между рабочими ходами, после окончания процесса обработки, а иногда и в процессе резания. Часто в контрольные паузы включают контроль состояния режущего инструмента. Наиболее распространенными в ГПС средствами прямого контроля заготовок вне процесса обработки являются измерительные головки касания, устанавливаемые либо в шпинделе ГПМ вместо инструмента, либо на отдельных контрольно-измерительных машинах (КИМ).

В состав КИМ входят: механическая часть с приводами координатных перемещений, системы ощупывания, измерения, обработки результатов обмеров и управления. Контроль размеров с высокой точностью сводится к определению величин перемещений по всем координатам элементов измерительной системы. КИМ с ЧПУ позволяют автоматизировать определение формы заготовок и полуфабрикатов, неизвестных размеров и соответствия параметров изготовленной детали эталонным. Высокочувствительные измерительные головки могут быть механическими, индуктивными, оптическими и лазерными. Возможны режимы работы точечный и непрерывный.

Конструктивно КИМ выполняют консольного и портального типов. Различные виды конструкций обусловлены размерами измеряемых деталей, степенью точности измерений и экономической эффективностью контроля. Приводы координатных перемещений выполняют подготовительные операции контроля. Система ощупывания обеспечивает контакт щупа измерительной головки с заданными в управляющей программе точками измерений на проверяемом объекте.

При составлении управляющей программы оператор на основе изучения чертежа детали разрабатывает процедуру ее промежуточного и окончательного контроля, а затем кодирует эту процедуру на входном языке системы управления КИМ и записывает программу на магнитном диске или магнитной кассете. При программировании методом обучения управляющая программа автоматически составляется и записывается в то время, когда оператор контролирует первую деталь, что

приводит к большому сокращению времени программирования и повышает качество программ. Возможно редактирование программ в режиме диалога. Для составления программы по контролируемой детали оператор может использовать переносной пульт программирования, с помощью которого можно вводить все измерительные функции, номинальные величины размеров и допуски.

Меньший опыт программирования требуется, если система управления КИМ имеет диалоговый режим составления программ на естественном языке: ЭВМ последовательно задает оператору вопросы, на которые он должен ответить, выбирая ответы из числа представленных на экране дисплея.

Программное обеспечение КИМ обычно позволяет находить геометрические параметры связи на плоскости и в пространстве между точками, линиями, окружностями, цилиндрами, конусами и сферами. Когда подвергается контролю заготовка сложной формы, можно заранее определить, сможет ли готовая деталь вложиться в полезный объем заготовки. Можно рассчитывать координаты, относящиеся к позиционированию заготовки на ГПМ, с целью получения равномерного распределения припусков. Сложные вычисления выполняет ЭВМ системы управления при контроле зубчатых колес. Ручное сканирование поверхностей позволяет оцифровывать модели штампового инструмента и прессовых форм с получением управляющих программ для изготовления этого инструмента на металлорежущем оборудовании с ЧПУ.

Кроме контроля параметров заготовок и готовой продукции КИМ используют для решения задач диагностирования. При этом их программное обеспечение выполняет оперативное вмешательство в производственный процесс и проводит корректирование механообработки по контролируемым параметрам. В виде измерительных роботов такие КИМ могут быть встроены в технологическое оборудование ГПС.

## **Вопросы для самопроверки**

1. Каковы задачи автоматизированного контроля и диагностирования?
2. Чем отличается управление качеством изделий от контроля их качества?
3. Что входит в состав технических средств САК?
4. Назовите объекты контроля и диагностирования в ГПС.
5. С чем связано распределение функций контроля в САК по иерархическим уровням?
6. Приведите примеры потоков контрольно-измерительной информации в ГПС.
7. Почему наиболее эффективен контроль процессов механообработки в зоне резания?
8. Каковы особенности прямых и косвенных методов диагностирования состояния режущего инструмента?
9. Приведите примеры контактных и бесконтактных методов контроля процессов механообработки.
10. Для чего в САК применяют контрольно-измерительные машины с ЧПУ?

### 10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В настоящее время имеет место интенсивный процесс становления робототехники, целью которой является создание и внедрение в народное хозяйство роботов и основанных на их использовании робототехнических систем различного назначения. Возникнув на основе механики, кибернетики, электроники и вычислительной техники, робототехника стимулировала новые направления их развития. Для механики это прежде всего связано с многозвенными механизмами, для кибернетики — с искусственным интеллектом, для электроники — с миниатюрными интегральными схемами и датчиками, для вычислительной техники — с микропроцессорными системами управления.

Робот — это универсальный автомат для осуществления механических действий, подобных тем, которые производит человек при выполнении физической работы. Робот объединяет свойства рабочих машин и информационных, являясь принципиально новым видом техники. В достаточно развитом виде роботы аналогично человеку осуществляют активное силовое и информационное взаимодействие с окружающей средой.

Термин робот объединяет самые различные автоматические машины и системы. Однако у них есть важнейшее общее качество: все они призваны заменить человека там, где он вынужден выполнять тяжелую, однообразную или угрожающую его здоровью работу. Сфера применения роботов чрезвычайно широка: машиностроение, горная и металлургическая промышленность, строительство, транспорт, атомная энергетика, освоение океана и космоса, сельское хозяйство, сфера обслуживания и т. д.

К экстремальным средам, в которых необходимы роботы, относятся: токсичные, с высокими и низкими температурами, вакуумные, с повышенным давлением, радиоактивные, химически агрессивные, взрывоопасные. В зависимости от состава рабочей среды меняются и условия функционирования роботов, а следовательно, и требования к их конструкции.

Наибольшее распространение роботы получили в промышленности, где они составляют более 80 % парка роботов в мире. Такие роботы называют промышленными. Предшественниками промышленных роботов были различные устройства с ручным и автоматическим

управлением, выполняющие манипулирование объектами на расстоянии.

М а н и п у л я т о р представляет собой управляемое устройство или машину для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом. Автоматический манипулятор, оснащенный устройством передвижения и неперепрограммируемым устройством управления, называется а в т о о п е р а т о р о м.

П р о м ы ш л е н н ы й р о б о т — это стационарная или передвижная автоматическая машина, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций. Под перепрограммируемостью понимают свойство промышленного робота заменять управляющую программу автоматически или с участием человека.

Интенсивное создание и внедрение промышленных роботов обусловлено многими причинами. Основные из них: внедрение ПР дает существенное сокращение доли ручного, тяжелого и монотонного труда; в перспективе в промышленности не ожидается заметного прироста рабочей силы, в связи с чем необходимое увеличение выпуска продукции будет обеспечиваться за счет создания и применения новой технологии и высокоавтоматизированной техники; широкое использование ПР для автоматизации производственных операций дает высокий технико-экономический эффект.

В качестве средств автоматизации ПР принципиально отличается от всевозможных манипуляторов и автооператоров своей многофункциональностью и гибкостью, т. е. способностью к быстрому переходу на выполнение новых операций. Под многофункциональностью (универсальностью) понимают универсальность рабочих органов ПР, их движений и возможность их быстрой смены в процессе выполнения операций. Универсальность управления движениями рабочих органов позволяет выполнять и такие операции, которые невозможно заранее запрограммировать.

Универсальность ПР позволяет автоматизировать любые операции, выполняемые человеком. Способность к быстрому переходу на выполнение новых операций при освоении новой продукции или изменениях в производстве позволяет сохранить за автоматизируемыми с помощью ПР технологическими процессами по крайней мере ту же гибкость, которую имеют процессы, обслуживаемые человеком. Появляются возможности даже к превышению этой гибкости. Другими словами, ПР создают предпосылки для перехода к новому уровню автоматизации — к построению ГПС.

## 10.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПР

Конструктивное оформление ПР зависит от следующих основных факторов: служебного назначения ПР, типа приводов, грузоподъемности, количества манипуляторов, типа и параметров рабочей зоны

манипуляторов, подвижности, способа размещения, быстродействия и точности движений, вида системы управления.

Разновидности ПР определяются разновидностями этих факторов.

По назначению ПР можно классифицировать в связи с теми производствами и технологическими процессами, в которых они нашли применение и будут применяться все шире:

механическая обработка — обслуживание всех видов металлорежущих станков, автоматических линий и ГПС;

кузнечно-штамповочное производство — обслуживание кузнечных молотов, горизонтально-ковочных и высадочных машин, штамповочных и обрешных прессов, нагревательных печей, ножниц и ГПС;

литейное производство — заливка металла, извлечение отливок из рабочей зоны литейных машин, обдув и нанесение смазочного материала на рабочую поверхность металлических форм, нанесение керамического покрытия на модельные блоки при литье по выплавляемым моделям, прокалка форм, изготовление стержней, удаление литников и облоя, обслуживание нагревательных печей и литейных машин, работа в составе ГПС;

термообработка — обслуживание закалочных и термических печей, соляных ванн; контроль твердости и других свойств обработанных деталей, маркировка, перенос и складирование готовых деталей, заготовок и материалов;

сварочное производство — дуговая и контактная электросварка, газовая сварка и резка, контроль сварных соединений;

производство деталей прессованием металлических порошков, пластмасс, керамики — обслуживание электропечей предварительного подогрева порошков и гранул, загрузка их в камеры прессования, извлечение готовых деталей, удаление облоя, очистка пресс-форм, работа в составе ГПС;

сборочные процессы — выбор и подача деталей на сборку в нужной последовательности, их ориентирование, позиционирование и соединение; обслуживание сборочных автоматов и автоматических линий;

нанесение износостойких, антикоррозионных, теплозащитных и других покрытий на детали методами напыления и распыления; обслуживание плазменных, детонационных, гальванических, промывочных и других установок и термических печей;

процессы испытания, исследования и контроля отдельных деталей, узлов и целых машин на специальных стендах, в производственных условиях, заводских и научно-исследовательских лабораториях (в том числе с использованием новых силовых установок, двигателей, вибрационной техники, аэродинамических камер, мощных магнитных полей, рентгеновского излучения, радиоактивных изотопов и т. д.).

Таким образом, по служебному назначению можно выделить прежде всего исполнительные, обслуживающие и транспортные ПР. *Исполнительные* ПР осуществляют основные технологические операции и процессы, *обслуживающие* ПР автоматизируют вспомогательные операции, а *транспортные* ПР выполняют транспортирование грузов и манипулирование ими.

Конкретное основное назначение ПР взаимосвязано с той внешней средой, в которой ПР должен функционировать, с внешними условиями работы исполнительных органов (температура, давление, химическая активность, влажность, взрывоопасность), характером выполняемых ПР операций. Действительно, условия функционирования ПР, выполняющего точные сборочные операции, и ПР, берущего пробы расплавленного металла, разные. Поэтому и создают ПР с тщательным учетом производственных условий.

Служебное назначение ПР определяет также степень их универсальности. *Универсальные* ПР предназначены для работы совместно с различными видами обслуживаемого оборудования. *Специализированные* ПР имеют более узкое назначение, обслуживая оборудование определенного вида или выполняя определенный технологический процесс (сварку, окраску). *Специальные* ПР обслуживают только конкретную модель технологического оборудования.

На рис. 7.3, 7.8, 8.15, 10.1...10.3 показаны ПР различного служебного назначения.

В ПР используют электрические, гидравлические и пневматические приводы как с вращательным, так и поступательным движением. В состав приводов входят источники движения (двигатели), устройства

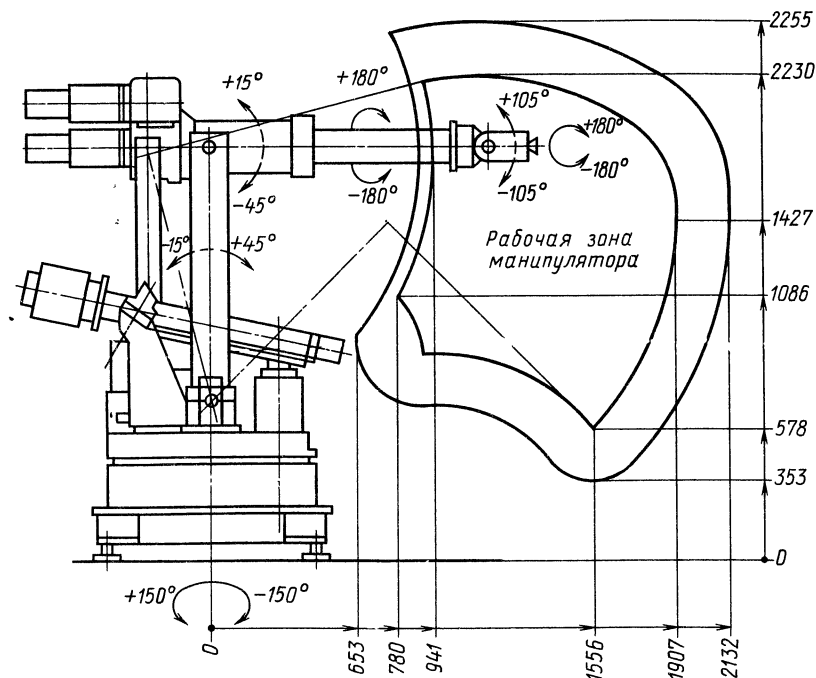


Рис. 10.1. Специализированный ПР с шестью степенями подвижности для точечной сварки (программирование в режиме обучения, позиционно-контурное управление, электромеханические приводы, грузоподъемность до 80 кг)

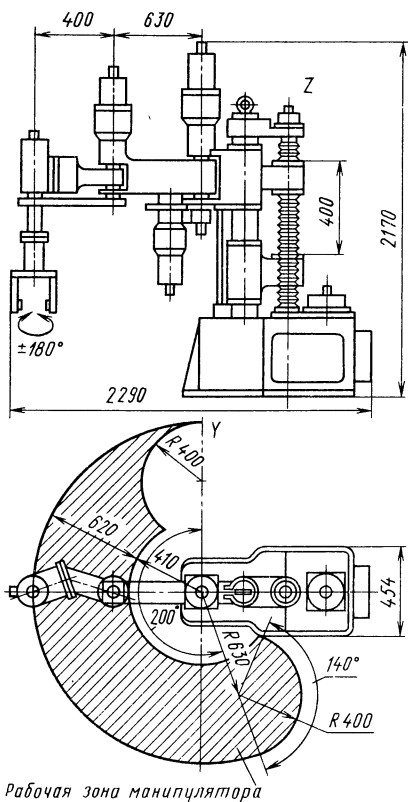


Рис. 10.2. Специализированный ПР с четырьмя степенями подвижности для сборочных операций (аналитическое программирование в режиме обучения, контурное управление, электромеханические приводы, грузоподъемность до 20 кг)

управления ими, муфты, тормоза и различные механизмы для передачи и преобразования движений. Все более широкое применение электро-механических приводов связано с развитием новых типов электрических двигателей, специально предназначенных для роботов.

По грузоподъемности ПР подразделяют на сверхлегкие, имеющие грузоподъемность до 1 кг, легкие — до 10 кг, средние — до 200 кг, тяжелые — до 1000 кг и сверхтяжелые — свыше 1000 кг. Этот параметр ПР характеризует наибольшую грузоподъемность его рабочих органов (манипуляторов), которая определяется массой перемещаемых объектов и в зависимости от назначения ПР может составлять от нескольких граммов в производстве микроэлектронной техники до многих тонн у транспортных ПР в литейном и кузнечно-штамповочном производстве, металлургической промышленности. У сверхлегких и легких ПР наиболее распространены пневматические приводы, что объясняется простотой, надежностью и взрывобезопасностью этих типов приводов. У тяжелых и сверхтяжелых ПР обладают наилучшими массогабаритными характеристиками гидравлические приводы.

Число манипуляторов у ПР в большинстве случаев ограничено одним, но в соответствии с назначением ПР создаются конструкции с двумя, тремя и четырьмя одинаковыми или разными манипуляторами.

Различают переносные и ориентирующие степени подвижности манипулятора. Переносные степени подвижности обеспечивают возможность перемещения объектов манипулирования в пределах рабочей зоны манипулятора, а ориентирующие — возможность их ориентации.

Теоретически минимально необходимое число переносных степеней подвижности для перемещения объектов в любую точку свободной рабочей зоны равно трем. Однако для расширения манипуляционных возможностей и обеспечения требуемых значений кинематических и динамических параметров манипулятора его обычно снабжают избыточными переносными степенями подвижности.

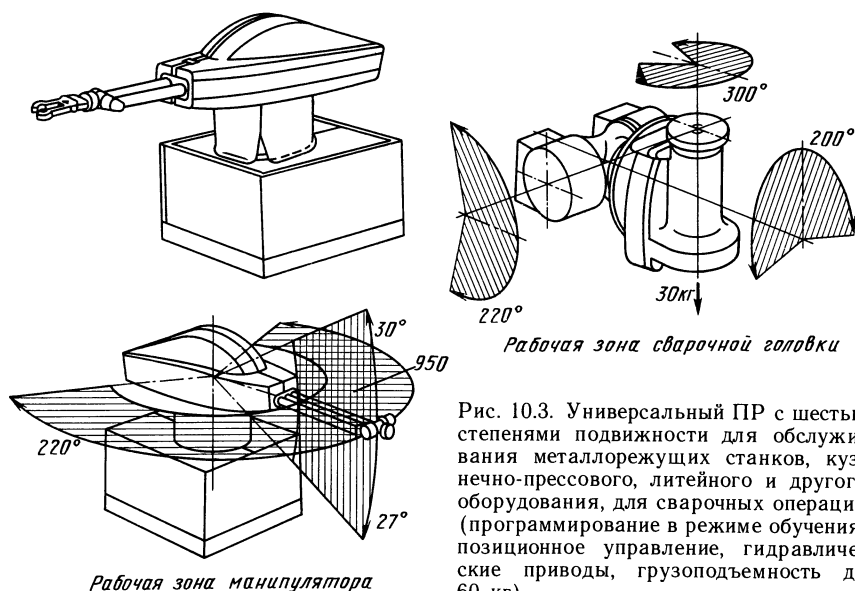


Рис. 10.3. Универсальный ПР с шестью степенями подвижности для обслуживания металлорежущих станков, кузнечно-прессового, литейного и другого оборудования, для сварочных операций (программирование в режиме обучения, позиционное управление, гидравлические приводы, грузоподъемность до 60 кг)

Максимально необходимое число ориентирующих степеней подвижности тоже равно трем. Обычно они реализуются кинематическими парами с угловым перемещением, обеспечивающими поворот рабочего органа манипулятора относительно его продольной и двух других взаимно перпендикулярных осей.

Место размещения приводов манипулятора, чаще всего раздельных для каждой степени подвижности, существенно влияет на его конструкцию. Размещение приводов непосредственно в кинематических звеньях манипулятора делает более простыми кинематические связи, что способствует повышению точности ПР. Недостатком такой компоновки является увеличение массы подвижной части манипулятора, что ухудшает динамические характеристики и снижает грузоподъемность ПР.

Размещение приводов на основании манипулятора приводит к появлению различного вида передаточных механизмов, необходимых для связи приводов с подвижными звеньями. Достоинства и недостатки такой компоновки — противоположные тем, которые характерны для первого варианта. Поэтому в оптимальных конструкциях манипуляторов комбинируют оба варианта размещения приводов для разных степеней подвижности.

Рабочая зона манипулятора — это пространство, в котором находится его рабочий орган при всех возможных положениях звеньев. Форма рабочей зоны зависит от числа степеней подвижности манипулятора и используемой системы координат, в которой осуществляется движение рабочего органа. В ПР используются прямоугольная, цилиндрическая, сферическая, угловая (ангулярная) системы координат и их комбинации. Размер рабочей зоны обусловлен диапазоном поступатель-



ных и угловых перемещений звеньев манипулятора по отдельным степеням подвижности.

Манипуляторы, работающие в прямоугольной системе координат, имеют рабочую зону в виде параллелепипеда. Такая система координат удобна при выполнении прямолинейных движений.

В манипуляторах, использующих цилиндрическую систему координат, наряду с поступательными перемещениями производится одно угловое (круговое) перемещение. Соответственно, рабочая зона имеет форму цилиндра. В случае сферической системы координат осуществляются два угловых перемещения наряду с поступательными и рабочая зона имеет форму шара.

Манипуляторы с угловой системой координат имеют только угловые перемещения. Все их звенья представляют собой шарниры, поэтому их называют шарнирными и антропоморфными. ПР с такого типа манипуляторами обладают наибольшей компактностью, хотя и сложны в управлении. Тип и параметры рабочих зон манипуляторов ПР определяют область окружающего пространства, в пределах которой робот может осуществлять при неподвижном основании манипулирование объектами.

По способу размещения стационарные и подвижные ПР могут быть напольными, подвесными и встраиваемыми в основное технологическое оборудование.

Системы управления ПР реализуют алгоритмы управления по программе манипуляторами и устройствами передвижения (для подвижных ПР), перепрограммирование, хранение информации о задаваемых параметрах движений и выполняемых функциях, а также синхронизацию действий ПР с работой обслуживаемого оборудования. В режиме обучения составление и ввод управляющей программы осуществляют в ходе предварительного пошагового выполнения программы с участием человека. При этом система управления запоминает параметры текущих положений звеньев манипуляторов и выполняемых команд. В режиме самообучения формирование параметров движения осуществляется при наличии заданной цели автоматически путем анализа внешней среды. При аналитическом программировании ПР управляющую программу составляют расчетным путем и затем вводят в систему управления. Управление движением по отдельным степеням подвижности может быть цикловым, позиционным и контурным.

Простейшим вариантом дискретного управления является цикловое программное управление, при котором осуществляется программирование лишь последовательности выполнения движений рабочим органом. При позиционном ЧПУ движение рабочего органа происходит дискретно по заданным точкам позиционирования без контроля траектории движения между ними. При контурном ЧПУ движение рабочего органа происходит непрерывно по заданной траектории с установленным распределением во времени значений скорости.

Большинство применяемых систем управления ПР функционируют с априорно заданными программами, т. е. с неизменяемыми в процессе

отработки каждой программы последовательностью и набором команд. ПР с адаптивным управлением осуществляют свои функции, имея возможность автоматического изменения заданной программы в зависимости от контролируемых параметров состояния внешней среды. Интеллектуальные ПР способны самостоятельно формировать программу действий на основе поставленной цели с учетом всех имеющихся информационных потоков.

### 10.3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПР

Промышленные роботы занимают особое место в структуре ГПС. Именно создание ПР позволило перейти к ГПМ и заменить человека на производственных участках, которые невозможно автоматизировать традиционными методами. Важнейшим компонентом ПР, в значительной степени определяющим их гибкость и совершенство, являются системы управления.

В промышленности чаще всего используют ПР с программным управлением, для которых жестко задается программа действий с анализом и остановом в аварийных ситуациях. Эти ПР и в будущем будут преобладать, так как значительное место в производстве занимают простые операции манипулирования.

На рис. 10.4 приведена структурная схема аппаратного устройства программного управления ПР. На пульте управления задаются режимы работы, индицируется состояние ПР и устройства управления. В запоминающем устройстве находятся одна или несколько управляющих программ. Узел управления положением обеспечивает обработку заданных

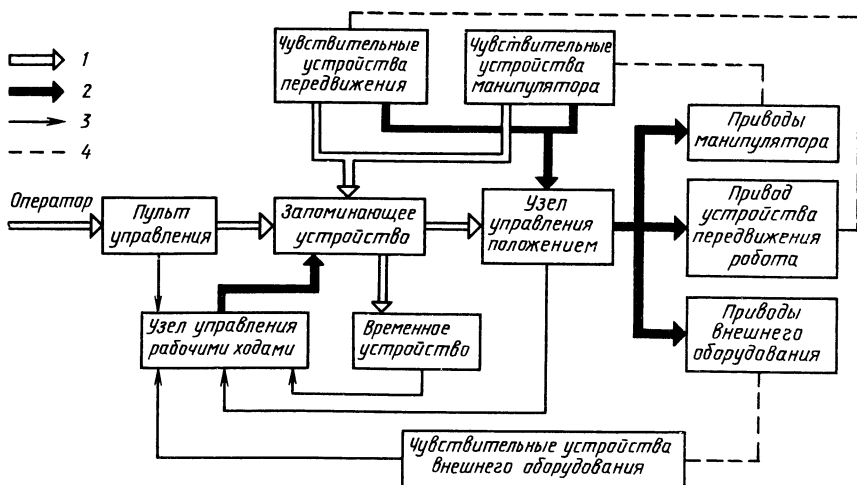


Рис. 10.4. Структурная схема аппаратного устройства программного управления ПР:

1 — информация программы; 2 — воспроизведение программы; 3 — командные сигналы и подтверждение отработки; 4 — механические связи

точек и траекторий приводами рабочих органов ПР и функционирующего совместно с ним внешнего оборудования. Узел управления рабочими ходами контролирует окончание отработки предыдущего шага программы, хранит номер обрабатываемого шага и выдает сигнал на отработку следующего шага. Временное устройство формирует необходимые по технологическому процессу выдержки времени.

Для ПР с программным управлением единственным источником информации о требуемых действиях является управляющая программа. Распространено как наиболее эффективное и простое программирование методом обучения, при котором ввод управляющей программы осуществляется путем однократного (образцового) выполнения всех требуемых действий в режиме ручного управления с пульта. Программа формируется в запоминающем устройстве с помощью соответствующих чувствительных устройств (в частности, датчиков). В режиме воспроизведения программы при автоматической работе сигналы с выхода узла управления поступают на приводы манипулятора, устройства передвижения робота и внешнего оборудования, которые под воздействием этих сигналов совершают заданные движения.

Управляющая программа содержит три вида информации: о требуемых позициях для каждой степени подвижности; последовательности этих позиций, связывающей их в общем рабочем цикле; времени, определяющем скорость движения рабочих органов. Простейшей единицей информации программы является команда, представленная в дискретной или аналоговой форме. Каждой команде соответствует единичная операция, выполняемая рабочими органами ПР или компонентами устройства управления: перемещение одного или нескольких звеньев манипулятора, открывание — закрывание захватного устройства, выдержка времени, выдача команды на внешнее оборудование и т. д. В зависимости от вида единичной операции ее кодирует при дискретной форме представления число, содержащее от 1 бита информации для операций типа «Включить — Выключить» до 14 бит для операций точного перемещения звеньев манипулятора.

Кадр управляющей программы содержит группу единичных операций, объединенных общими условиями воспроизведения. Например, один кадр может содержать команды, необходимые для перемещения манипулятора в определенную точку рабочей зоны в результате одновременной работы его звеньев. Кадры могут объединяться в подпрограммы, задающие законченную последовательность действий ПР. Порядок выдачи на отработку команд, кадров и подпрограмм возможен либо в заданной последовательности, либо с возможностью изменения последовательности воспроизведения по внутренним и внешним условиям. Сигналы о внутренних и внешних условиях поступают в узел управления рабочими ходами и изменяют номер следующей обрабатываемой команды.

Внутренние условия вводятся вместе с программой в запоминающее устройство или задаются с пульта управления. Управление по внутренним условиям создает дополнительные функциональные возможности: многократная отработка участка программы по заданному в

счетчике числу, изменение отдельных команд программы по номеру обрабатываемого цикла и др. Такое управление также выполняется по жесткому алгоритму, так как внутренние условия, заданные априорно, не изменяются в процессе отработки программы. Типичный пример работы по внутренним условиям: упорядоченная раскладка заготовок в тару, когда необходимо считать количество уложенных заготовок и от цикла к циклу изменять координаты очередной ячейки тары.

Информация о внешних условиях поступает в устройство управления ПР от локальных систем управления и датчиков оборудования ГПС в ходе выполнения технологического процесса, в котором участвует робот. В результате ПР может переходить на другую программу, многократно обрабатывать или пропускать отдельные участки программы и целые подпрограммы, изменять отдельные команды, переходить на работу по внутренним условиям. Все это позволяет гибко реагировать на те изменения в технологическом процессе, возможность которых была заранее предусмотрена при программировании робота.

Цикловое программное управление (ЦПУ) применяют в ПР, выполняющих вспомогательные операции по обслуживанию технологического оборудования при небольшом числе точек позиционирования манипуляторов по каждой степени подвижности (обычно не более трех) и при сравнительно простых повторяющихся циклах движений. В частности, такие ПР распространены в заготовительном производстве. Информация о точках позиционирования задается установкой вручную жестких упоров, путевых переключателей и датчиков различной конструкции (при этом количество возможных фиксированных положений манипулятора мало). Последовательность выполнения движений рабочими органами ПР (содержание рабочего цикла) программируется с помощью штекерных панелей, многопозиционных переключателей, программных барабанов и временными устройствами типа реле времени.

Для роботов с ЦПУ характерны высокая точность позиционирования, простые алгоритмы управления, невысокая стоимость, но малый объем информации управляющих программ и низкие функциональные возможности. Узел управления может быть построен на дискретных релейных элементах, интегральных микросхемах, базе микропрограммных автоматов и микропроцессорах.

Позиционное программное управление широко применяют в самых различных ПР, так как оно отличается по сравнению с ЦПУ более высокой универсальностью и гибкостью, возможностью автоматической отработки циклов движений с тысячами точек позиционирования. Позиционные устройства управления являются дальнейшим развитием цикловых систем и реализуют алгоритмы перемещения рабочих органов «от точки к точке» с автоматическим разгоном и торможением без контроля траектории движения и контурной скорости.

Рассмотрим серийное унифицированное устройство позиционного управления мод. УПМ-772, в котором имеется центральный вычислитель, последовательно обрабатывающий всю информацию, связанную с функционированием ПР. Обмен информацией между узлами осущест-

вляется по трем шинам. Управляющие программы размещаются в узле памяти на магнитной ленте, которая может содержать до 2000 кадров. Буферное запоминающее устройство полупроводникового типа обеспечивает хранение информации 32 кадров программы.

Микропрограммный автомат управления формирует сигналы микроопераций в соответствии с алгоритмом управления. Узел управления приводами состоит из преобразователей «код — напряжение». Максимальный выходной сигнал на приводы 10 В. Узел измерений преобразует сигналы от датчиков обратной связи по положению манипулятора в цифровой код. Узел обработки технологических команд выдает на манипулятор и внешнее оборудование до 15 команд с четырьмя сопроводительными признаками объектов и принимает сигналы об обработке команд. Узел синхронизации вырабатывает последовательности импульсов, синхронизирующие работу устройства, а также частоты, необходимые для работы измерительной системы и формирования выдержек времени.

Устройства серии УПМ имеют несколько модификаций, предназначенных для ПР со следящими и электрошаговыми приводами на 3, 5 и 7 степеней подвижности. Программирование осуществляется методом обучения. Предусмотрено программирование в кадре программы одновременно для всех координат одной из четырех возможных скоростей движения и одной из трех степеней точности позиционирования. Выбор требуемой управляющей программы производится по внутренним и внешним условиям или с пульта управления.

Многие производственные операции (сварка, окраска, сборка, газовая резка, напыление, снятие заусенцев и др.) требуют контурного программного управления ПР, т. е. отслеживания заданной траектории движения рабочих органов и контроля их скорости. При таких технологических процессах ПР обычно представляет собой не вспомогательное устройство, а основное технологическое оборудование, выполняющее операции по изменению качественных характеристик изделий.

При контурном управлении реализуется непрерывная и синхронная обработка перемещений рабочих органов ПР по двум, трем, четырем и более координатам одновременно. Распространены два способа решения этой задачи. Первый сводится к комбинации позиционного управления с процессом интерполяции между опорными точками по определенному алгоритму. Второй способ основан на запоминании требуемой непрерывной траектории для каждой степени подвижности. Особенности второго способа — большая универсальность, простота вычислительного процесса, возможность обработки более сложных траекторий перемещения. Однако при этом необходимо запоминающее устройство со значительно большим объемом памяти.

Технологические особенности производства накладывают специфические требования на многие параметры систем управления ПР. Так, для окрасочных ПР скорость перемещения рабочих органов достигает 2 м/с при низкой точности обработки траектории (допускается отклонение до 10 мм и более). При дуговой сварке скорость перемещения рабочих органов незначительна, а погрешность обработки траектории

не должна превышать 0,5...1 мм. Для сборочных ПР характерны точность порядка 0,1 мм и сочетание контурного управления с позиционным. Для высокоточных ПР используют более точные и сложные информационно-измерительные компоненты и исполнительные приводы.

Применение систем позиционно-контурного управления расширяет технологические возможности ПР. Они разделяются на универсальные системы с центральным вычислителем и системы с децентрализованной структурой. Построение по децентрализованной структуре характерно для специализированных систем, особенно с цифро-аналоговым методом обработки информации.

Типичным примером микропроцессорной системы позиционно-контурного управления может служить мод. УКМ-772 (рис. 10.5), предназначенная для ПР со следящими и дискретными приводами, в которой в качестве центрального вычислителя используется микроЭВМ «Электроника-60». К микроЭВМ через унифицированные шины подключены аппаратные модули управления приводами, сопряжения с датчиками положения, пультом оператора и пультом обучения, ввода и вывода технологических команд. Хранение программного обеспечения системы управления осуществляется постоянным запоминающим устройством. Обработка управляющей программы и промежуточные результаты вычислений находятся в оперативном запоминающем устройстве. Кассетный накопитель на магнитной ленте служит внешним программно-носителем. Формирование временной выдержки и синхросигналов осуществляется таймером.

Программное обеспечение является неотъемлемой частью микро-

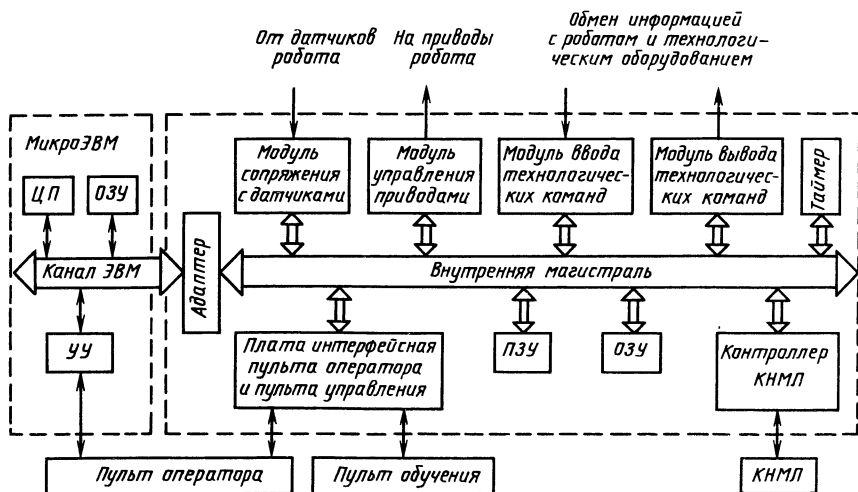


Рис. 10.5. Структурная схема микропроцессорной системы позиционно-контурного управления мод. УКМ-772:

ЦП — центральный процессор; ОЗУ и ПЗУ — оперативное и постоянное запоминающее устройство; УУ — устройство управления; КНМЛ — кассетный накопитель на магнитной ленте

процессорных систем управления ПР. Оно создается с использованием всех достижений в области вычислительной математики, алгоритмических языков, построения операционных систем и банков данных, моделирования процессов управления (кинематики, динамики и внешней среды). Укрупненно его можно разделить на два вида: вычислительные средства управления, обеспечивающие функционирование ПР в реальном масштабе времени в конкретных производственных условиях, и средства автоматизированного программирования, позволяющие выполнять подготовку, редактирование и отладку управляющих программ пользователей либо на рабочем месте ПР, либо в условиях вычислительного центра. К вычислительным средствам управления относятся программные модули планирования траекторий рабочих органов, интерполяции, обработки информации от чувствительных устройств и датчиков, связи с внешним оборудованием, обучения, связи с оператором, а также программы безопасности работы ПР и диагностирования их компонентов.

ПР с адаптивным управлением представляют собой более высокую ступень развития робототехники, для которой характерно создание гибкопрограммируемых устройств, оснащенных средствами очувствления для получения информации об окружающей среде, предмете производства и состоянии механизмов робота. Они выполняют более сложные операции на участках автоматизированного контроля, сварки, штамповки, механообработки и сборки в условиях с заранее неизвестными изменениями окружающих производственных условий, к которым должны приспосабливаться. Сигналы от средств адаптации вызывают изменение хода управляющих программ согласно заранее установленному алгоритму, введенному в систему управления.

Примером системы адаптивного управления ПР является система управления роботом для дуговой сварки. Процесс сварки ведется по управляющей программе, однако перед его началом необходим поиск места стыка свариваемых деталей, а затем движение вдоль стыка при определенных ориентации и расстоянии электрода относительно стыка. Эти задачи реализуются с помощью различного типа датчиков расстояния и угла наклона, которые размещены на сварочной головке манипулятора.

Частью системы управления ПР мод. МП-8 является модуль технического зрения. Его типовое назначение — обслуживание сборочных и других операций, при которых необходимо производить захватывание неориентированных предметов и их идентификацию, осуществлять контроль качества и сортировку заготовок и деталей. В состав модуля входят телевизионная камера «Взор» с электростатической отклоняющей системой, видеопроцессор, выполняющий предварительную обработку и преобразование информации от камеры, микроЭВМ «Электроника-60М».

Перед началом работы производится обучение модуля технического зрения (МТЗ). При обучении каждый из объектов, с которыми предстоит работать МТЗ, помещается в рабочее поле примерно в 20 различных положениях. В результате МТЗ формирует каталог эталонов рабочих объектов. Далее производится согласование систем координат телевизионной камеры и манипулятора. При проявлении объектов в рабочем поле

МТЗ вычисляет геометрические параметры, определяющие их положение и ориентацию, и выдает управляющие воздействия на приводы манипулятора, которые выводят схват в нужное положение. Так, при использовании двухпальцевого схвата удлиненные предметы необходимо брать таким образом, чтобы пальцы схвата были перпендикулярны к главной оси, которой соответствует минимальный момент инерции.

После захватывания объекта МТЗ выдает на манипулятор команду на перемещение объекта и одновременно завершает его идентификацию с тем, чтобы к моменту приближения объекта в заданную область рабочей зоны (в зону сборки) можно было уже располагать всеми данными, необходимыми для дальнейшей работы с ним.

Ступенью дальнейшего развития робототехники становится создание ПР с искусственным интеллектом, способных к самообучению на основе исходного задания, информационно-вычислительных моделей процессов оптимального управления и данных об окружающей среде. В таких ПР используется более совершенный адаптивный принцип управления, при котором роботы оптимальным образом реагируют на непредусмотренные алгоритмами управления события. При этом наряду с решением задач перемещений рабочих органов системы адаптивного управления ПР должны уметь решать и необходимые интеллектуальные задачи: выполнять анализ производственной обстановки, моделировать внешнюю среду, идентифицировать целевые объекты (заготовки, детали, полуфабрикаты, рабочий инструмент, технологическую оснастку), распознавать препятствия при движениях, понимать речь диктора и т. д.

Активное целенаправленное взаимодействие ПР с реальной внешней средой строится путем анализа информации о состоянии среды и свойствах отдельных объектов в рабочей зоне, а также самого ПР и его компонентов. Характер и объем этой информации определяется функциональным назначением ПР, степенью неопределенности и сложностью условий работы, требуемой автономией поведения.

К числу общих видов информации о состоянии устройств ПР (внутренней информации) следует отнести: координаты, определяющие положение и перемещение звеньев манипулятора; параметры, характеризующие ориентацию и степень раскрытия захвата; скорость и ускорение движений звеньев манипулятора; усилия в рабочих звеньях.

Наиболее общими видами информации о внешней среде являются: координаты, определяющие положение объекта в рабочей зоне относительно робота и захвата; признаки, обуславливающие обнаружение объекта; признаки, необходимые для распознавания объекта и определения его ориентации; параметры, характеризующие рельеф рабочей зоны; координаты положения робота в рабочей зоне.

Информация о состоянии ПР и внешней среды поступает с выхода чувствительных устройств и датчиков в виде сигналов, соответствующих фиксированным значениям измеряемых параметров. К чувствительным элементам ПР предъявляются следующие требования: простота конструкции и малогабаритность, высокая надежность и помехоустойчивость, устойчивость к вибрации и влиянию окружающей среды, большой ресурс работы при низкой стоимости, простота эксплуатации



и универсальность. Выполнить все эти противоречивые требования одновременно чрезвычайно трудно, поэтому создание высококачественных датчиков всегда связано с большими техническими трудностями. На пути развития интеллектуальных ПР много научно-технических проблем, связанных с применением широкой номенклатуры сенсорных устройств для исследования и отображения окружающей среды, систем обработки получаемой информации и выработки реакции на получаемую информацию в реальном масштабе времени.

Сенсорные (чувствительные) устройства геометрических свойств выполняют: ограничение движений звеньев робота в результате соприкосновений или контактов с предметами во внешней среде (пьезоэлементы, тактильные датчики), определение расстояний до окружающих предметов или размеров и ориентации предметов путем локационных измерений (оптические, ультразвуковые, радиотехнические, телевизионные устройства технического зрения и локации). Сенсорные устройства физических свойств выполняют функции: измерения усилий и моментов сил; измерения плотности и давления жидких, твердых, газообразных веществ; измерения температуры; определения цвета, запаха. Сенсорные устройства химических свойств определяют химический состав веществ с помощью анализаторов типовых химических реакций.

Создание достаточно мощных, дешевых и надежных микропроцессоров, разнообразных устройств технического зрения, тактильных и силомоментных датчиков позволяет не только реализовать адаптивные системы управления и элементы искусственного интеллекта, но и делает экономически целесообразным их промышленное использование. Поэтому можно ожидать, что адаптивные и интеллектуальные роботы органически войдут в состав ГПС, повысив их производственные характеристики.

## **Вопросы для самопроверки**

1. Почему робототехника стимулирует новые направления развития механики, кибернетики, электроники и вычислительной техники?
2. Какое общее качество характерно для всех видов роботов?
3. В чем состоят принципиальные особенности ПР?
4. Приведите примеры использования ПР в машиностроительном производстве.
5. Сравните исполнительные и обслуживающие ПР.
6. Какие приводы рабочих органов используются в ПР?
7. С чем связано различие переносных и ориентирующих степеней подвижности ПР?
8. Что входит в состав транспортных ПР?
9. Дайте определение рабочей зоны манипуляторов.
10. Какие разновидности систем управления используют в ПР?

1. **Основные** направления экономического и социального развития СССР на 1985—1990 годы и на период до 2000 года. М.: Политиздат, 1986. 183 с.
2. **Автоматизация** поискового конструирования/Под ред. А. И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981. 344 с.
3. **Бакис К. Я.** Эффективность автоматизации производства//Методические вопросы планирования, оценки, анализа. М.: Экономика, 1982. 104 с.
4. **Белянин П. Н.** Промышленные роботы и их применение//Робототехника для машиностроения. М.: Машиностроение, 1983. 312 с.
5. **Белянин П. Н.** Робототехнические системы для машиностроения. М.: Машиностроение, 1986. 256 с.
6. **Вальков В. М.** Контроль в ГАП. Л.: Машиностроение, 1986. 232 с.
7. **Волчкевич Л. И., Ковалев М. П., Кузнецов М. М.** Комплексная автоматизация производства. М.: Машиностроение, 1983. 269 с.
8. **Гибкое** автоматическое производство./Под ред. С. А. Майорова, Г. В. Орловского, С. Н. Халкиопова. 2-е изд. Л. Машиностроение, 1985. 454 с.
9. **Горанский Г. К., Бендерова Э. И.** Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. М.: Машиностроение, 1981. 455 с.
10. **Гусев И. Т., Елисеев В. Г., Маслов А. А.** Устройства числового программного управления. М.: Высшая школа, 1986. 296 с.
11. **Дерябин А. Л.** Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1984. 285 с.
12. **Козырев Ю. Г.** Промышленные роботы. М.: Машиностроение, 1983. 376 с.
13. **Кошкин Л. Н.** Роторные и роторно-конвейерные линии. М.: Машиностроение, 1982. 336 с.
14. **Локтева С. Е.** Станки с программным управлением и промышленные роботы. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1986. 320 с.
15. **Маеров А. Г.** Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий. М.: Машиностроение, 1986. 368 с.
16. **Металлорежущие станки**/Под ред. В. Э. Пуша. М.: Машиностроение, 1985. 576 с.
17. **Механизация** и автоматизация сборки в машиностроении/А. В. Воронин, А. И. Гречухин и др. М.: Машиностроение, 1985. 272 с.
18. **Митрофанов С. П.** Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. 3-е изд. Л.: Машиностроение, 1983.
19. **Многоцелевые** системы ЧПУ гибкой механообработкой/Под ред. В. Г. Колосова. Л.: Машиностроение, 1984. 224 с.
20. **Мясников В. А., Игнатьев М. Б., Покровский А. М.** Программное управление оборудованием. 2-е изд. Л.: Машиностроение, 1984. 427 с.

21. **Петров Б. А.** Манипуляторы. Л.: Машиностроение, 1984. 238 с.
22. **Прейс В. В.** Технологические роторные машины. М.: Машиностроение 1986. 317 с.
23. **Рапопорт Г. Н., Солин Ю. В.** Применение промышленных роботов М.: Машиностроение, 1985. 272 с.
24. **Робототехника** и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти книгах. Под ред. И. М. Макарова. М.: Высшая школа, 1986.
25. **Системы** ооувствления и адаптивные промышленные роботы/Под ред Е. П. Попова, В. В. Ключева. М.: Машиностроение, 1985. 256 с.
26. **Современные** промышленные роботы. Каталог/Под ред. Ю. Г. Козырева, Я. А. Шифрина. М.: Машиностроение, 1984. 152 с.
27. **Терган В. С., Андреев И. Б., Либерман Б. С.** Основы автоматизации производства. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1982. 269 с.
28. **Юревич Е. И.** Основы робототехники. Л.: Машиностроение, 1985. 271 с

## А

- Автоматизация** интегрированная 24
  - комплексная 23
  - производственного цикла 23
- Автоматизированная система** — Понятие 56 — Этапы разработки 64
  - инструментального обеспечения 96, 210
  - организационно-технологического управления 120
  - технологической подготовки производства 77, 80, 97
  - управления предприятием 124
  - управления технологическими процессами 119
- Автоматизированное рабочее место** 25, 49, 50
- Автоматизированный** измерительный комплекс 215
  - склад 175, 179
- Автоматическая линия** 19, 147
  - сборка 146
- Автооператор** 219

## Б

- База данных** 74
- Банк данных** 74, 91, 169
- Библиотека** базовая графическая 53
  - базовых функций языка 59

## Г

- Гибкая** автоматизированная линия 114
  - производственная система 96, 101, 105
- Гибкий** автоматизированный участок 96, 110, 111
  - цех 97, 184, 185
- Гибкий производственный модуль**
  - Взаимосвязь характеристик 204
  - Компоновка 125, 135 — Понятие 96
- Гибкость** производства 10
- Головки** контрольно-измерительные 140, 210
  - револьверные 138

## Д

- Диагностирование** 194, 196, 215
- Диалоговый режим** 60, 67, 167
- Длина слова** данных 34

## И

- Интерполяция** 160, 228
- Интерпретация** 59, 159
- Интерфейс** 31, 163
- Информатика** 21

## К

- Канал** мультиплексный 31, 165
  - селекторный 31
- Ковка** свободная 130
- Компоновка** АТСС 172
  - ГПС сборки 152
- Конструирование** алгоритмов 65
- Корректирование** погрешностей 162

## М

- Магазин** инструментальный 142
- Манипулятор** — Для режущего инструмента 143 — Назначение 219
  - Степень подвижности 222 — Рабочая зона 223
- Материальный поток** ГПС 172
- Машина** сборочная 147, 150
  - контрольно-измерительная 216
- Машинная графика** — Понятие 67
- Методы** контроля 198
  - организации ГПС 149
  - проектирования технологических процессов 84
- Микропрограммирование** 33
- Микропроцессор** — Понятие 32 — Разрядность 34 — Характеристики 44
- МикроЭВМ** 43
- Мини-ЭВМ** 42
- Модель** системы управления ГПС 121

— структурная АС ТПП 82  
**Монитор-отладчик** 53  
**Мультипрограммирование** 39

## О

**Обеспечение** систем информационное 57

- лингвистическое 56
- математическое 57, 81, 158
- методическое 56
- организационное 57
- программное 57, 61
- техническое 57

**Оптимизация** без данных 74

- компоновок приспособлений 89, 95
- конструирования 11, 58
- механообработки 206
- программного обеспечения систем 65
- процессов сборки 151
- структуры ГПС 99
- технологических процессов 9, 78, 83, 127
- транспортных операций 193
- управления производством 123, 231

**Оснастка** технологическая 16, 86

- универсально-сборная переналаживаемая 88

## П

**Пакетный режим** 39, 60, 167

**Переналаживаемость** 10

**Подготовка производства** — Этапы 11

**Постпроцессор** 168

**Пробивка** листового металла 129

**Программируемый контроллер** 46, 191

**Продукция** — Качество 9, 196 — Себестоимость 10

**Производительность** труда 9

**Производственный цикл** 8

## Р

**Раскатка** 131

**Реальный масштаб** времени 48, 158

**Резка** сортового проката 125

**Робокар** 183, 188, 193

**Робот** — Обучение 224, — Понятие 218

- Разновидности 220
- Самообучение 224
- интеллектуальный 225, 231
- исполнительный 220
- обслуживающий 220
- промышленный 219
- специальный 221
- транспортный 187, 220
- универсальный 221

**Робототехника** 218

## С

**Самодиагностирование** 157, 198

**Система** — Безотказность работы 112

- автоматизированная транспортно-складская 172
- автоматизированного контроля 196, 206
- автоматизированного программирования 168
- автоматизированного проектирования 56
- команд ЭВМ 33
- прерывания ЭВМ 31, 38, 48
- производственная 7, 12
- слежения АТСС 189

**Системотехника** — Понятие 24, 196

**Станок** агрегатный 19, 116

- многоцелевой 22
- специальный 18
- с ЧПУ 21
- универсальный 17

## Т

**Таймер** 48

**Терминальные символы** 59

**Тесты** 66, 198

**Технология** — Унификация 12

- групповая 15, 79
- лазерная 134
- маршрутная 13, 178
- операционная 13
- порошковая 133
- типовая 13, 146

## У

**Управление** — Понятие 47

- адаптивное 206, 230
- базами данных 74
- качеством продукции 200
- контурное 160, 224, 228
- локальное 120
- позиционное 160, 224, 227
- цикловое 160, 224, 227
- числовое 21

**Управляющая программа** — Ввод 158

— Корректирование 159 — Этапы подготовки 165

**Устройство** сопряжения с объектом 47, 163

- ЧПУ 153, 225, 229

## Ш

**Шина связи** — Понятие 163

**Штамповка** горячая объемная 132

- листовая 128
- сферодвижная 132
- холодная 131

**Электроавтоматика** 161

**ЭВМ** — Архитектура 42 — Быстродействие 35 — Вычислительная мощность 34 — Операционная система 37, 53, 61 — Программная совместимость 37 — Разделение времени 40 — Структура 30 — Технология программирования 62

— малая 42

— персональная 50

— СМ-1810 51

— специализированная 46, 191

— универсальная 36

— управляющая 47

## Я

**Ядро ЭВМ** — Состав 29

**Язык** алгоритмический 59

— ассемблера 44

— программирования микропроцессора 43

— «процессор-постпроцессор» 169

— РЕДГРАФ 70

— специализированный 59, 61

Условные сокращения . . . . .	3
Введение . . . . .	5
<b>Глава 1. Направления развития автоматизации производства в машиностроении . . . . .</b>	<b>7</b>
1.1. Требования к производству . . . . .	7
1.2. Технологические основы автоматизации производства . . . . .	12
1.3. Средства автоматизации в различных типах производства . . . . .	17
1.4. Комплексная автоматизация производства . . . . .	23
Вопросы для самопроверки . . . . .	27
<b>Глава 2. Автоматизированное рабочее место конструктора и технолога . . . . .</b>	<b>29</b>
2.1. Средства автоматизации конструкторской и технологической подготовки производства . . . . .	29
2.2. Основные характеристики ЭВМ . . . . .	33
2.3. ЭВМ общего назначения . . . . .	36
2.4. Управляюще-вычислительные комплексы . . . . .	41
2.5. Автоматизированные рабочие места . . . . .	49
Вопросы для самопроверки . . . . .	55
<b>Глава 3. Системы автоматизированного проектирования . . . . .</b>	<b>56</b>
3.1. Разновидности САПР . . . . .	56
3.2. Языковые средства САПР . . . . .	58
3.3. Состав программного обеспечения . . . . .	61
3.4. Машинная графика . . . . .	67
3.5. Информационное обеспечение . . . . .	74
Вопросы для самопроверки . . . . .	76
<b>Глава 4. Автоматизация технологической подготовки производства . . . . .</b>	<b>77</b>
4.1. Особенности автоматизации технологической подготовки производства . . . . .	77
4.2. Структурная модель АС ТПП . . . . .	80
Вопросы для самопроверки . . . . .	85
<b>Глава 5. САПР зажимных приспособлений для ГПС . . . . .</b>	<b>86</b>
5.1. Особенности производства зажимных приспособлений . . . . .	86
5.2. Конструктивный анализ и синтез приспособлений . . . . .	90
5.3. Специализированное программное обеспечение . . . . .	93
Вопросы для самопроверки . . . . .	95
<b>Глава 6. Гибкие производственные системы . . . . .</b>	<b>96</b>
6.1. Назначение и принципы построения . . . . .	96
6.2. Методы получения заготовок в условиях ГПС . . . . .	101
6.3. ГПС для механической обработки деталей . . . . .	105
6.4. Гибкие автоматизированные линии . . . . .	114

6.5. Управление ГПС . . . . .	118
Вопросы для самопроверки . . . . .	124
<b>Глава 7. Гибкие производственные модули . . . . .</b>	<b>125</b>
7.1. ГПМ для получения заготовок . . . . .	125
7.2. ГПМ механообработки . . . . .	135
7.3. Промышленные роботы на операциях сборки . . . . .	144
7.4. Системы управления ГПМ . . . . .	153
7.5. Подготовка управляющих программ для ГПМ . . . . .	165
Вопросы для самопроверки . . . . .	170
<b>Глава 8. Автоматизированные транспортно-складские системы . . . . .</b>	<b>172</b>
8.1. Типы АТСС . . . . .	172
8.2. Организация грузопотоков . . . . .	177
8.3. Промышленные роботы в АТСС . . . . .	183
8.4. Системы управления АТСС . . . . .	191
Вопросы для самопроверки . . . . .	195
<b>Глава 9. Системы автоматизированного контроля . . . . .</b>	<b>196</b>
9.1. Методы автоматизированного контроля и диагностирования . . . . .	196
9.2. Потоки контрольно-измерительной информации в ГПС . . . . .	201
9.3. Контроль процессов механообработки . . . . .	206
Вопросы для самопроверки . . . . .	217
<b>Глава 10. Промышленные роботы . . . . .</b>	<b>218</b>
10.1. Общие сведения . . . . .	218
10.2. Классификация ПР . . . . .	219
10.3. Системы управления ПР . . . . .	225
Вопросы для самопроверки . . . . .	232
Список литературы . . . . .	233
Предметный указатель . . . . .	235



УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Шурков Виталий Николаевич**

**ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА  
И ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ**

Редактор *Ю. И. Подскребко*

Художественный редактор *А. С. Вершинкин*

Технический редактор *Т. С. Старых*

Корректоры *О. Е. Мишина* и *А. П. Сизова*

---

Сдано в набор 26.09.88. Подписано в печать 14.02.89. Т-04659. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
Бумага типограф. № 1. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,0.  
Усл. кр.-отт. 15,0. Уч.-изд. л. 17,7. Тираж 48 700 экз. Заказ 779. Цена 85 к.

---

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение»,  
107076, Москва, Стромынский пер., 4.

---

Отпечатано в Ленинградской типографии № 6 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10. С диапозитивов Ленинградской типографии № 2 головного предприятия ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.

